

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS AMBIENTALES**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES, CAMBIO  
CLIMÁTICO, CAMBIO DE USO DEL SUELO Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN  
SOBRE POBLACIONES DE *VACCINIUM FLORIBUNDUM KUNTH*. CASO DE ESTUDIO:  
VOLCÁN EL CORAZÓN**

**AUTORES:**

**EDISON DAVID MORALES PÉREZ**

**BISMARCK STALIN SALGADO CABEZAS**

**TUTOR:**

**GUTIÉRREZ SALAZAR PATRICIA MARIBEL**

**Quito, marzo del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Edison David Morales Pérez con documento de identificación N° 1724371818 y Bismarck Stalin Salgado Cabezas con documento de identificación N° 1725130411, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES, CAMBIO CLIMÁTICO, CAMBIO DE USO DEL SUELO Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN SOBRE POBLACIONES DE *VACCINIUM FLORIBUNDUM KUNTH*. CASO DE ESTUDIO: VOLCÁN EL CORAZÓN, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....

Edison David Morales Pérez

172437181-8

Quito, marzo 2021

.....

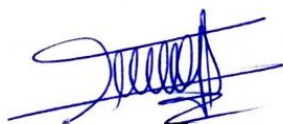
Bismarck Stalin Salgado Cabezas

172513041-1

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES, CAMBIO CLIMÁTICO, CAMBIO DE USO DEL SUELO Y ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN SOBRE POBLACIONES DE *VACCINIUM FLORIBUNDUM KUNTH*. CASO DE ESTUDIO: VOLCÁN EL CORAZÓN** realizado por Edison David Morales Pérez y Bismarck Stalin Salgado Cabezas, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2021



.....

Patricia Maribel Gutiérrez Salazar

1718427220

## **DEDICATORIA**

A mi madre por brindarme el cariño en cada una de las etapas de mi vida, en cada momento que necesité ayuda siempre estuvo para mí, por dedicarme el tiempo suyo en el trayecto de su vida para que no me falte nada.

A mi padre, por los consejos, el cariño, las risas que me ha brindado y el esfuerzo que hace diariamente para que pueda continuar con los estudios.

A mi hermana por la motivación que siempre me brinda para sobresalir y a Dios por cuidarme en todo momento.

Edison David Morales Pérez

A Dios por brindarme la suficiente fuerza, energía, sabiduría e inteligencia a lo largo de toda mi carrera universitaria para cumplir con todas mis responsabilidades como estudiante y día a día formarme como un buen profesional

A mi madre y padre por todo el cariño y apoyo durante mis años de estudio, por cada sacrificio que han hecho para darme una educación y que pueda continuar con mis estudios, gracias por la motivación de cada día y por todos los valores que han sabido inculcarme, a mi hermana que ha sido el motor para seguir adelante y ser un ejemplo de superación y motivación para seguir creciendo como profesional y como ser humano.

A mi amada novia, que ha sabido brindarme una palabra de aliento en cada momento difícil, gracias por el tiempo que me ha dedicado y por enseñarme que por más difícil que sea el camino nunca hay que rendirse, gracias por inspirarme y hacerme crecer.

A todos mis amigos y compañeros que formaron parte de mi vida académica, por cada palabra o gesto que se ve reflejado en este momento.

Bismarck

## **AGRADECIMIENTO**

De manera especial queremos agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por ser el espacio formador de nuestras vidas profesionales, a la carrera de Ingeniería Ambiental, su directora de carrera y docentes por brindarnos los conocimientos necesarios para convertirnos en excelentes ingenieros.

Nuestros sinceros agradecimientos a la ingeniera Patricia Gutiérrez, nuestra tutora por guiarnos adecuadamente para cumplir con el objetivo de la investigación, por el tiempo dedicado, las ideas proporcionadas y la paciencia durante la realización del presente trabajo.

Nos gustaría agradecer al equipo encargado de los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana por facilitarnos los implementos necesarios como es el caso del dron y la computadora para la realización de la investigación.

Finalmente nos gustaría agradecer a nuestros familiares y a nuestro gran amigo Andrés que nos brindaron ánimos, apoyo moral y una amistad inolvidable.

David y Bismarck

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS .....	4
2.1.	Objetivo General .....	4
2.2.	Objetivos Específicos.....	4
3.	MARCO TEÓRICO .....	5
3.1.	Incendios forestales .....	5
3.1.1.	Clima asociado a los incendios.....	5
3.2.	Afectaciones en las propiedades químicas del suelo .....	6
3.2.1.	pH.....	6
3.2.2.	Materia orgánica.....	7
3.2.3.	Capacidad de intercambio catiónico .....	8
3.2.4.	Contenido en sales solubles.....	9
3.3.	Afectaciones en las propiedades físicas del suelo .....	9
3.3.1.	Porosidad.....	9
3.3.2.	Textura .....	9
3.3.3.	Color.....	10
3.3.4.	Cenizas .....	10
3.4.	Afectaciones en las propiedades biológicas del suelo .....	10
3.5.	Toma de fotografías aéreas de alta resolución .....	11
3.6.	Software para el procesamiento de imágenes: Pix4D.....	12
3.7.	Software para la gestión de vuelos: eMotion .....	13
3.8.	Planificación de vuelo para generar orto mapas.....	13
3.9.	Medición de radiación térmica: Cámara térmica.....	15
3.10.	Procesamiento de imágenes aéreas térmicas.....	16
3.10.1.	Representación digital de imágenes .....	16

3.10.2.	Procesado de imágenes con Pix4D.....	17
3.11.	Cambio climático.....	18
3.12.	Escenarios de cambio climático RCP.....	19
3.12.1.	Cambio climático escenario 2.6.....	19
3.12.2.	Cambio climático escenario 8.5.....	19
3.12.3.	Análisis Predictivos: Uso del software Maxent.....	20
3.12.4.	Base de Datos Climáticos: WorldClim.....	20
3.13.	Uso de suelo.....	21
3.14.	Mortiño.....	21
3.15.	Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF) .....	22
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
4.1.	Equipos utilizados.....	24
4.2.	Descripción del área de estudio .....	25
4.2.1.	Planificación .....	26
4.2.2.	Etapas de campo.....	28
4.2.3.	Etapas de análisis.....	29
4.3.	Análisis de correlación.....	31
4.4.	Análisis ANOVA.....	31
4.4.1.	Planteamiento de hipótesis.....	31
4.5.	Análisis de registros de <i>Vaccinium floribundum Kunth</i> .....	32
4.5.1.	Obtención de registros de <i>Vaccinium floribundum Kunth</i> y depuración de los mismos.....	32
4.5.2.	Obtención de variables bioclimáticas, procesamiento de capas .....	33
4.5.3.	Modelado de distribución de <i>Vaccinium floribundum Kunth</i> en Maxent..	35

4.5.4. Procesamiento de archivos asc en ArcGis y generación de mapas de distribución potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth .....	36
4.5.5. Procesamiento de archivos asc en ArcGis y generación de mapas de cambio climático (escenarios RPC 2.6 y 8.5) de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.....	37
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
5.1. Análisis del efecto de los incendios forestales .....	38
5.2. Modelado de distribución potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth .....	47
5.3. Áreas protegidas intervenidas dentro de la distribución potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.....	53
5.4. Análisis de uso de suelo en la distribución potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.....	56
5.5. Escenarios de cambio climático en la distribución potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.....	60
5.5.1. Escenario RCP 2.6.....	61
5.5.2. Escenario RCP 8.5.....	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
6.1. Conclusiones.....	68
6.2. Recomendaciones.....	68
7. BIBLIOGRAFÍA.....	70



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> <i>Equipos y Softwares utilizados</i> .....	24
<b>Tabla 2:</b> <i>Lista de 19 variables bioclimáticas utilizadas en el modelo</i> .....	34
<b>Tabla 3:</b> <i>Promedios de temperatura en la zona de estudio</i> .....	38
<b>Tabla 4:</b> <i>Resumen del análisis ANOVA</i> .....	39
<b>Tabla 5:</b> <i>Análisis de varianza</i> .....	39
<b>Tabla 6:</b> <i>Temperatura superficial según la altitud en la zona quemada</i> .....	42
<b>Tabla 7:</b> <i>Temperatura superficial según la altitud en la zona no quemada</i> .....	44
<b>Tabla 8:</b> <i>Áreas protegidas que intersecan con el área potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth</i> .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Drone eBee SenseFly</i> .....	24
<b>Figura 2:</b> <i>Laptop Lenovo</i> .....	25
<b>Figura 3:</b> <i>Cámara Thermomap</i> .....	25
<b>Figura 4:</b> <i>Área de estudio</i> .....	26
<b>Figura 5:</b> <i>Planificación de vuelo en el Volcán El Corazón</i> .....	27
<b>Figura 6:</b> <i>Vista panorámica del área de estudio</i> .....	28
<b>Figura 7:</b> <i>Preparación del equipo</i> .....	29
<b>Figura 8:</b> <i>Lanzamiento del dron</i> .....	29
<b>Figura 9</b> <i>Elaboración de ráster térmico en Pix4D</i> .....	30
<b>Figura 10</b> <i>Modelado en Maxent con variables bioclimáticas</i> .....	35
<b>Figura 11</b> <i>Configuración de Maxent</i> .....	36
<b>Figura 12</b> <i>Mapa térmico del área de estudio</i> .....	41
<b>Figura 13</b> <i>Gráfico de dispersión en la zona quemada</i> .....	43
<b>Figura 14</b> <i>Gráfico de dispersión en la zona no quemada</i> .....	45
<b>Figura 15</b> <i>Tasa de omisión respecto al umbral acumulativo</i> .....	48
<b>Figura 16</b> <i>Característica operativa del receptor</i> .....	49
<b>Figura 17</b> <i>Prueba de navaja para las variables bioclimáticas</i> .....	50
<b>Figura 18</b> <i>Prueba de navaja usando la "ganancia"</i> .....	50
<b>Figura 19</b> <i>Prueba de la navaja usando el área bajo la curva</i> .....	51
<b>Figura 20</b> <i>Mapa de distribución potencial de <i>Vaccinium floribundum</i> Kunth</i> .....	52
<b>Figura 21</b> <i>Mapa de áreas protegidas intersecadas por el área potencial de desarrollo</i>	55

<b>Figura 22</b> <i>Mapa de zona antrópica en la sección de mayor ocurrencia de Vaccinium floribundum Kunth.....</i>	56
<b>Figura 23</b> <i>Mapa de zona agrícola .....</i>	58
<b>Figura 24</b> <i>Mapa de zona de Bosques en el área potencial .....</i>	59
<b>Figura 25</b> <i>Mapa de zona de vegetación .....</i>	60
<b>Figura 26</b> <i>Área bajo la curva para el escenario RCP 2.6. ....</i>	62
<b>Figura 27</b> <i>Mapa de escenario de cambio climático 2.6.....</i>	63
<b>Figura 28</b> <i>Área bajo la curva para el escenario RCP 8.5. ....</i>	65
<b>Figura 29</b> <i>Mapa de escenario de cambio climático 8.5.....</i>	66

## RESUMEN

La presente investigación se realizó para analizar como las diferentes actividades antropogénicas y el cambio climático afectan a la distribución potencial de una especie endémica del Ecuador.

Con respecto a la influencia de los incendios forestales en la distribución potencial de *Vaccinium floribundum Kunth*, se determinó que, debido a las condiciones climáticas y la vegetación de la zona, un año después del suceso la temperatura superficial del suelo del área quemada se equilibra a las condiciones reportadas en la zona que no fue afectada por el incendio, ofreciendo un entorno favorable para el desarrollo de la especie.

Se determinó el área potencial de distribución del mortiño mediante el software Maxent usando 4 variables bioclimáticas con 137 registros, que corresponde a 1955664,30 Ha ubicadas en la sierra ecuatoriana. Además, se registró que 23 de las 59 áreas protegidas poseen condiciones climáticas requeridas para el crecimiento de mortiño, ocupando 541559,83 Ha dentro de la distribución potencial de la misma, lo cual garantiza un cuidado de un gran porcentaje de la especie. Se determinó que el 31,08% del área de distribución potencial se encuentra en zonas destinadas a las actividades agrícolas y el 0,5% en zonas donde se encuentran asentamientos humanos; es importante mencionar que el avance de la frontera agrícola y la expansión urbana amenazan la distribución natural de esta especie que se encuentra en los páramos.

Para finalizar se analizó la influencia del cambio climático en escenarios RCP 2,6 y 8,5; para el primer caso se obtuvo un aumento del 26,15% en el territorio de potencial distribución, para el segundo caso se obtuvo una disminución de 3,40 % es decir por un lado

el escenario 2,6 es considerado optimista ya que las emisiones atmosféricas tienen una tendencia a disminuir provocando de esta manera el desarrollo natural de la especie, sin embargo el escenario RCP 8,5 es considerado catastrófico debido al aumento de las emisiones atmosféricas, por ende el incremento de la temperatura global de 4 °C amenaza ecosistemas sensibles como los páramos donde se encuentra la especie de estudio.

**Palabras clave:** *Vaccinium floribundum Kunth*, cambio climático, páramo, uso de suelo, distribución

## ABSTRACT

The present investigation was conducted to analyze how different anthropogenic activities and the climate change affect the potential distribution of an endemic species of Ecuador.

Regarding the influence of forest fires on the potential distribution of *Vaccinium floribundum Kunth*, it was determined that, due to the climatic conditions and vegetation of the area, one year after the event the surface temperature of the soil of the burned area is balanced to the conditions reported in the area that was not affected by the fire, offering a favorable environment for the development of the species.

It was determined the potential area of distribution of the mortiño by means of Maxent software using 4 bioclimatic variables with 137 records, which corresponds to 1955664,30 Ha located in the Ecuadorian mountain range. It was also recorded that 23 of the 59 protected areas have climatic conditions required for the growth of mortiño, occupying 541559.83 Ha within the potential distribution of the same, which guarantees a care of a large percentage of the species. It was determined that 31.08% of the potential distribution area is in areas destined for agricultural activities and 0.5% in areas where human settlements are located; it is important to mention that the advance of the agricultural frontier and urban expansion threaten the natural distribution of this species found in the moors.

Finally, the influence of climate change was analyzed in RCP scenarios 2.6 and 8.5; for the first case, an increase of 26.15% was obtained in the territory of potential distribution, for the second case a decrease of 3.40% was obtained, that is to say, on the one hand scenario 2.6 is considered optimistic since atmospheric emissions have a tendency to decrease, thus provoking the natural development of the species. However, the RCP scenario 8.5 is

considered catastrophic due to the increase in atmospheric emissions, therefore the increase in global temperature of 4 °C threatens sensitive ecosystems such as the moors where the species under study is found.

**Keywords:** *Vaccinium floribundum Kunth*, climate change, moor, land use, distribution

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los incendios forestales no solo pueden cambiar la cantidad de materia orgánica presente en la zona de afectación, sino que se ve perjudicada la calidad del suelo y también ciertos factores en las tasas de mineralización que de una u otra forma afectan al humus presente en el mismo por el aumento de temperatura lo que produce una degradación microbiana (González , 2009). En este sentido en la investigación realizada por Wieting et al. (2017), se utilizó una simulación de un incendio en el cual se concluyó que la densidad aparente y el almacenamiento de agua fueron afectados pero hay que recalcar que no se vieron beneficiados otros factores como la cantidad de carbono orgánico presente y sobre todo los tiempos en que el agua puede penetrar en la superficie dando como resultado una disminución de la porosidad en el mismo Wieting et al. (2017); por otro lado en una investigación establecida en el 2016 por Gabriel Aguilera se obtuvo como resultado en el ámbito de la microbiota, datos de la reducción de la población bacteriana que se encuentra en el suelo, esto ocurre generalmente luego de un incendio, además para este resultado se tiene que tomar en cuenta la intensidad del fuego y su duración. Es importante mencionar que los incendios forestales consumen grandes hectáreas de vegetación provocando la destrucción y pérdida de hábitats y vegetaciones.

El análisis de imágenes térmicas por O'Brien et al. (2015), establece una heterogeneidad entre la energía liberada del fuego con la de radiación del mismo para llegar a métodos eficaces sobre el comportamiento del suceso en el área de estudio y los efectos útiles que se tienen al momento de analizar estadísticamente los incendios. El uso de vehículos aéreos no tripulados nos ayuda a evaluar diferentes factores posteriores a un incendio, además de analizar el comportamiento en una línea de tiempo determinada de estos factores y entender su evolución con el tiempo.



Es importante analizar las áreas protegidas como estrategias de conservación para las especies que se encuentran dentro de las mismas, de acuerdo con (Dudley, 2008) estos espacios están destinados a preservar el crecimiento de la flora y fauna y deben mantener un equilibrio natural evitando el desarrollo de actividades antropogénicas que alteren el desarrollo del hábitat, por tal motivo es importante determinar la eficiencia de las áreas protegidas en el cuidado de especies, en este caso el mortiño.

Comprender el uso que se le está dando al suelo es importante para analizar la distribución de la especie de estudio, tomando en cuenta el informe del (INEC, 2012) en el cual se reporta que para los años de 2005 a 2012 la tendencia de incremento en la superficie dedicada a cultivos ha sido de 1.35% por año, entendiéndose como cada vez la frontera agrícola se expande más, lo cual amenazaría zonas altas como los páramos o áreas protegidas y consigo el crecimiento natural de las especies presentes en estos ecosistemas, el crecimiento de los poblados también amenaza los espacios para la proliferación de mortiño, es importante analizar y controlar el avance de la frontera agrícola y asegurar el crecimiento de especies nativas de estos hábitats.

En relación al cambio climático, según el IPPC (2014) indica que se han planteado una serie de escenarios probables, se cuenta con un escenario RCP 2.6 considerado como alentador en el cual se mantendría las condiciones actuales con una tendencia a disminuir las emisiones atmosféricas, en el cual la temperatura global no sobrepasaría los 2°C manteniendo las condiciones óptimas para el desarrollo de la vida, sin embargo, se plantea un escenario RCP 8.5 considerado como pesimista en el cual la tendencia de emisiones atmosféricas es de aumento y la temperatura global se prevé alcance el aumento de 4°C afectando el desarrollo natural de especies vegetales y animales, en consecuencia es fundamental entender cómo se verían afectadas las poblaciones de *Vaccinium floribundum Kunth* en el territorio ecuatoriano.

Con los antecedentes mencionados el objetivo del presente trabajo es analizar cómo se ven afectadas las poblaciones de *Vaccinium floribundum Kunth* con relación a actividades antropogénicas como la agricultura o eventos naturales como los incendios forestales, además de estudiar como las condiciones climáticas afectarían la distribución de esta especie y analizar el cuidado y la eficiencia de las áreas protegidas para mantener seguras las poblaciones de mortiño.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto de los incendios forestales, cambio climático, cambio de uso de suelo y estrategias de conservación sobre poblaciones de *Vaccinium floribundum Kunth*.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar y analizar la temperatura superficial del Volcán El Corazón utilizando imágenes aéreas térmicas.
- Determinar el área potencial de distribución de *Vaccinium floribundum Kunth*.
- Analizar la influencia del cambio climático y el cambio de uso de suelo en la distribución potencial de *Vaccinium floribundum Kunth*.
- Determinar el impacto de las estrategias de conservación sobre el área de distribución potencial de *Vaccinium floribundum Kunth*.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Incendios forestales**

Según la Oficina de Asistencia para Desastres en América Latina y el Caribe (USAID, 2001) un incendio forestal es un fuego que se produce en bosques naturales o plantados debido a la acción del ser humano o causados por la naturaleza, y que avanzan sin ningún control ocasionando una serie de daños entre los que se pueden mencionar ecológicos, climáticos, económicos y sociales.

La mayoría de los incendios que se registran en el Ecuador son ocasionados por la acción del ser humano, debido a la práctica de quemas controladas para el aumento de la fertilidad del suelo y por ende una mejora en la actividad agrícola (Pazmiño, 2019).

Los incendios forestales pueden ocasionar alteraciones en el suelo dependiendo principalmente de la intensidad del calentamiento. Durante un fuego de alta intensidad se pueden alcanzar temperaturas que van entre 1200 a 1400 °C en su interior; en la parte superficial del suelo se puede tener valores de hasta 1000 °C en incendios de bosques de coníferas, a 500-700 °C en matorrales y a 200 °C en pastizales; en todos los casos, se trata de temperaturas suficientemente elevadas como para ser capaces de modificar las propiedades del suelo (Martínez et al. 1991). Dependiendo de la época en la cual se realiza la quema de la vegetación pueden generarse altas temperaturas en el verano, incluyendo otros factores como el viento, tipo de vegetación y suelo, mismos que pueden extender el área que ha sido consumida por el fuego, transformándolos en incendios que no pueden ser controlados por su alta intensidad, llevándose consigo la flora y fauna del territorio.

##### ***3.1.1. Clima asociado a los incendios***

De acuerdo con Giglio et al. (2010) los incendios forestales afectan entre 330 y 431 millones de hectáreas de vegetación en todo el mundo cada año. A lo largo del último milenio los distintos incendios alrededor del mundo se han visto fuertemente impulsados por tormentas eléctricas y

después se vio un cambio a un régimen impulsado por las actividades antropogénicas durante la Revolución Industrial (Pechony y Shindell, 2010).

“Dentro de las principales razones que se toman en cuenta para el aumento en el número de incendios forestales se consideran a los combustibles, el clima – tiempo atmosférico, los agentes de ignición y las personas” Flannigan et al. (2005). En el futuro se espera que el aumento de los incendios forestales se vea influenciado por la temperatura, debido a las temporadas de incendios más largas y condiciones más cálidas a nivel global se tendrá una tendencia de aumento en la ocurrencia de incendios y en el área de afectación (Flannigan et al. 2005).

En el caso de Ecuador, la mayoría de los incendios suceden en la Sierra ecuatoriana ya que posee una temperatura de 8 a 20 ° C en esta región, además que influye la época seca durante los meses de junio a noviembre, generándose los incendios en mayor parte por la presencia de bosques de eucalipto que avivan las llamas en estos incidentes (Pazmiño, 2019).

### **3.2. Afectaciones en las propiedades químicas del suelo**

#### **3.2.1. pH**

Una de las propiedades químicas alteradas tras un incendio forestal es el pH del suelo. Su valor aumenta debido a las cenizas que se producen durante la quema, las mismas que contienen una gran cantidad de carbonato potásico ( $\text{CO}_3\text{K}_2$ ), que presenta una reacción básica al hidrolizarse, y como consecuencia se incrementa el pH. No obstante producto de las lluvias el arrastre de cationes es elevado, provocando en un principio un aumento del pH y posteriormente una disminución con relación a los valores previos a un incendio Martínez et al. (1991).

### **3.2.2. *Materia orgánica***

La materia orgánica del suelo, también denominada humus, se detalla como la fracción orgánica que posee este mismo, sin incluir a las especies vegetales y animales que no se encuentran en descomposición, además es el componente principal compacto que conserva este medio natural, ya que se encuentra relacionado con la mayoría de las propiedades del suelo (SOIL SURVEY STAF, 1999).

Según Sheperd et al. (2001) “la materia orgánica del suelo (MO), mantiene unidas las partículas minerales con respecto a las fuerzas desestabilizadoras debido a que se considera como un factor que estabiliza su propia estructura”. En quemas de poca intensidad se observa un incremento de la materia orgánica debido a la acumulación sobre el suelo del combustible forestal en forma de cenizas; sin embargo, las llamas ocasionan un descenso en los valores iniciales de MO cuando los niveles de temperatura sobrepasan los 450°C logrando su combustión Martínez et al. (1991).

La calidad de la materia orgánica también se ve afectada y modificada por la presencia de fuego, ya que este mismo reacciona como agente acelerador de tasas de mineralización del carbono orgánico y modifica las tasas de descomposición después de un incendio, puesto que, mientras la temperatura sigue en aumento, por otro lado, la materia orgánica tiende a modificarse haciéndola mucho más resistente a la degradación microbiana (González, 2009).

También se ven afectadas las propiedades físicas del suelo. Si el fuego producto de un incendio arruina parte de la materia orgánica y aparta temporalmente la vegetación; a medida que los agregados se debilitan, la estabilidad estructural se verá modificada, que por el impacto de las gotas de lluvia posteriormente serán destruidos. Cuando se destruye la estructura del suelo, su capacidad de absorción de agua disminuye, lo que conduce a un aumento en la escorrentía superficial y los procesos de erosión Martínez et al. (1991).

### ***3.2.3. Capacidad de intercambio catiónico***

Según menciona Yong et al. (1990) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) estima los sitios de carga de las arcillas, tanto las cargas permanentes, como las cargas dependientes de pH. Estos sitios de intercambio retienen por fuerzas electrostáticas a los cationes. La CIC es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos y que es función de la cantidad y tipo de arcilla.

El complejo de cambio es afectado directamente por el fuego, mediante la alteración de los minerales de arcilla y la combustión de la materia orgánica. La materia orgánica se altera entre 100 y 500 °C, mientras que a temperaturas más altas los minerales presentan un cambio. Se puede observar una disminución de los valores de la CIC en los primeros centímetros del suelo, después de una quema. Dependiendo de algunos factores como el contenido previo de materia orgánica, la magnitud del incendio y la naturaleza de los minerales de las arcillas este descenso será más o menos importante De Celis et al. (2009).

Se evidencian incrementos tras un incendio de hasta cuatro veces los valores registrados en un principio de potasio, magnesio y calcio, por otro lado, la cantidad de potasio desaparece de manera rápida, sin embargo, los niveles de potasio son semejantes a los iniciales durante los próximos cuatro meses de ocurrida la quema, y a los dos años pueden llegar a ser inferiores. El incremento observado en magnesio y calcio, en primera instancia es muy sensible en los próximos dos años en los que se presentó el incendio. Con respecto al fósforo existen incrementos desde 5 hasta 10 veces sus valores iniciales, manteniendo el aumento durante un tiempo más prologando, ya que pasados dos años aún conserva un 40% del valor inicial (Martínez et al. 1991).

#### **3.2.4. *Contenido en sales solubles***

Tras la exposición a temperaturas moderadas, la conductividad eléctrica del suelo puede aumentar, debido a la incorporación de sales solubles producto de la combustión de la materia orgánica. En periodos a corto tiempo, estos iones liberados proporcionan una mejora de la fertilidad, en otros casos, pueden ocasionar problemas, debido a que la absorción de algunos nutrientes se inhibe por problemas surgidos de la acumulación de elementos minerales. Las modificaciones de la conductividad eléctrica suelen ser pasajeras, debido al arrastre de las sales provocado por la escorrentía (De Celis et al. 2009).

### **3.3. Afectaciones en las propiedades físicas del suelo**

#### **3.3.1. *Porosidad***

Una de las propiedades físicas que se ve afectada durante un incendio forestal es la porosidad. Es el espacio creado por los poros por donde se regula el movimiento de agua y aire en el suelo, mismo en el que debe existir un equilibrio entre macroporos y microporos, permitiendo al terreno movilizar tanto el agua y el aire con una velocidad adecuada (a través de los macroporos) y retener el agua por capilaridad (en los microporos). Los efectos del fuego sobre las superficies del suelo pueden afectar la estructura y destruir los macroporos, los cuales son esencialmente significativos para las vías de infiltración de agua y su futura filtración hacia abajo a través del perfil del suelo, lo que produce más escorrentía superficial, dando lugar a determinados procesos de erosión hídrica (Beyers, 2008).

#### **3.3.2. *Textura***

Los componentes de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) no son afectados por acción del fuego ya que presentan altos umbrales de temperatura, con excepción en la superficie del suelo (horizonte A). La fracción de arcilla tiende a modificar su estructura a temperaturas en un rango



de 400 a 800 °C siendo esta la textura más sensible. Con temperaturas superiores a los 1414 °C podrían existir afectaciones en la arena o el limo, que raramente se presentan (Beyers, 2008).

### **3.3.3. *Color***

Después de un incendio, el suelo presenta un color con una tonalidad más oscura debido a la acumulación de hojarasca quemadas y cenizas. El color ennegrecido disminuye el albedo de la superficie del suelo, incrementando la tasa de evaporación debido a una mayor tendencia a calentarse (De Celis et al. 2009).

### **3.3.4. *Cenizas***

Por efecto de las diferentes condiciones de la combustión en un incendio, el fuego crea un patrón variable de la distribución de ceniza. Con el tiempo aumenta esta variabilidad, principalmente en zonas donde la erosión del viento y la escorrentía son más eficientes. Se obtiene como resultado de la compactación de la ceniza y la redistribución un patrón heterogéneo de protección del suelo. Por ende, el suelo está expuesto indistintamente a agentes de erosión. Dependiendo de la severidad del fuego el espesor de la capa de ceniza varia, debido a que se ha consumido una mayor cantidad de materia orgánica, siendo delgada en lugares donde esta ha sido mayor, y más gruesa y alta en lugares que han sufrido una severidad menor (De Celis et al. 2009).

## **3.4. Afectaciones en las propiedades biológicas del suelo**

El fuego afecta a los organismos biológicos, directa o indirectamente. En cuanto a los efectos directos se presentan cambios en un corto periodo de tiempo, es decir, debido a un incendio la temperatura de un organismo se eleva lo suficiente para dañarlo o matarlo, ya que tiene contacto directo con los gases calientes, las llamas y queda atrapado en el suelo. Con relación a los efectos indirectos se presentan cambios a largo plazo en el medio ambiente modificando el bienestar de

los organismos vivos; estos efectos tienen consecuencias en el restablecimiento y la sucesión de especies (Verman y Jayakumar , 2012).

Posterior a un incendio se observa un aumento en la actividad biológica provocando una facilidad de recolonización de plantas simbiotes con hongos o bacterias del suelo . Debido al incremento de temperatura del suelo en superficies quemadas y el aumento del pH que proporcionan las cenizas con suficiente humedad, se produce un mayor desarrollo de microorganismos, por tal motivo se observa una mayor población en pocos días que lo registrado antes del incendio. Tras las primeras lluvias se observa una gran actividad biológica y relaciones simbióticas entre algas y plantas, en zonas previamente incendiadas (De Celis et al. 2009).

Por otro lado, la fauna del suelo sufre modificaciones drásticas en su nivel superficial y ocasionalmente, a mayor profundidad por incineración de las raíces de árboles previamente cortados. En etapas posteriores, las fuentes de alimento se reducen considerablemente, limitando los recursos de la fauna del suelo. La recuperación puede darse desde parches afectados por fuego de baja severidad dentro de la zona quemada o de áreas vecinas no consumidas por el fuego (De Celis et al. 2009).

### **3.5. Toma de fotografías aéreas de alta resolución**

Con la ayuda del drone eBee sensefly el cual es un vehículo aéreo no tripulado (UAV) está especialmente diseñado para la toma automática de fotografías aéreas de alta resolución, utilizadas para diseñar orto mosaicos 2D y modelos 3D (senseFly Parrot Group, 2018).

Estos equipos pueden ejecutar maniobras muy rápidas debido a que son livianos, además de contar con un tamaño ideal para obtener beneficios dinámicos. Debido a restricciones físicas por temas de seguridad, les permite abordar lugares donde las personas tienen acceso limitado. Para

permitir al equipo realizar diferentes tareas es necesario implementar herramientas conjuntamente con un trabajo constante de la mano del usuario. Por otro lado, varias de estas herramientas y aplicaciones necesitan del control humano y no funcionan de manera independiente. Sin embargo, para que estos instrumentos puedan realizar toda clase de actividades sin necesitar la parte del piloto, es esencial elaborar una estrategia; por lo tanto, las rutas se pueden disponer con antelación o en el momento de las operaciones de vuelo (Betancourth, 2017).

Es muy importante planificar los vuelos con mucho cuidado, para la mayoría de los vehículos aéreos no tripulados, ya que una parte importante es la experiencia de la persona que lo dirige por lo que es complicado establecer la precisión que se necesita, en estos tiempos, esta tecnología ofrece aplicaciones para planificar vuelos (Betancourth, 2017).

### **3.6. Software para el procesamiento de imágenes: Pix4D**

Es un software que permite realizar un mapeo profesional con la utilización de drones, por lo que a partir de imágenes aéreas crea mapas y modelos 3D, por lo tanto, este software disminuye la estancia in situ, y ahorrando al mismo tiempo en costos de operación (HobbyTuxtla, 2019).

PIX4D, tiene las propiedades requeridas para crear un plan de vuelo por adelantado, este mismo se elabora tomando fotografías con un ángulo de visión apropiado; para proporcionar cotas, medir dimensiones y alturas mediante un vuelo tridimensional, este no debe ser vertical al suelo, por lo tanto, no debe formar 90 grados. La visita planificada se realizará tomando las fotos requeridas y dependiendo del área de trabajo, así como la realización de superposiciones al tomar fotos, estas se suben a una carpeta para ser procesadas y editadas mediante la utilización de diferentes softwares (Betancourth, 2017).

### **3.7. Software para la gestión de vuelos: eMotion**

“Es un programa de computador de gestión de vuelos usado para determinar el tipo de experiencia ofrecida por el UAV por lo que es diseñado para que cualquier persona lo pueda utilizar” (Parrot Group, 2018).

De acuerdo con (tecniTop, 2004) la utilización adecuada de eMotion 3 nos permite:

- Llevar a cabo una planificación simple de la misión con vuelo en bloque - los bloques de la misión son los componentes principales de cada misión automática de eMotion 3
- Realizar misiones de vuelo múltiple para proyectos de gran magnitud con alto nivel de eficiencia -sólo aterrizar, cambiar la batería y volver a lanzar para continuar con la misma misión.
- Importar de manera eficiente los datos de vuelo, para contar con una mayor seguridad y precisión del vuelo en el terreno.
- Contar con un administrador de datos de vuelo incorporado, georeferenciamiento y preparación de imágenes necesarias para el procesamiento fotogramétrico adicional; reduciendo enormemente los problemas de compatibilidad de software de terceros, más procesamiento y validación RTK/PPK.

### **3.8. Planificación de vuelo para generar orto mapas**

El camino a seguir tendrá que tener una forma cuadriculada. Las superposiciones mínimas están entre el 75% transversal y al menos el 60% longitudinal. La posición de la cámara es perpendicular al suelo; para las reconstrucciones en 2D y 3D, es importante tener varias opciones de vistas para cada zona. Por lo tanto, es esencial ejecutar una trayectoria con dos cuadrículas, en pocas palabras,

ejecutar el camino como en el caso de la ortofoto, y continuar una trayectoria análoga de 90 grados. Con esta guía, se asegura que se obtienen fotos del Norte, Sur, Este y Oeste. La superposición es del 75% y 60%, como en el caso anterior (AERIAL, 2017).

Según el manual del dron ebee senseFly (senseFly Parrot Group, 2017) el eBee proporciona el estándar adecuado en cuanto a simplicidad de planificación y gestión de vuelos gracias a su excelente software eMotion.

En primera instancia, se elige el mapa base más apropiado, para luego definir la región a cartografiar. Por consiguiente, se especifica la resolución de terreno deseada que va hasta 1,5 cm/0,6 in por píxel e instaurar la superposición necesaria para la imagen (senseFly Parrot Group, 2017).

“Para asegurar un exitoso plan de vuelo, el programa eMotion añade también la simulación de la fuerza y dirección del viento mediante un vuelo virtual permitiéndose adjuntar perfeccionamientos al plan de vuelo previamente al lanzamiento” (Tecnitop, 2016).

Según el manual del dron de cartografía (Tecnitop, 2016), dentro del plan de vuelo se consideran puntos para alcanzar una planeación apropiada y una toma de fotos de calidad y eficientes:

- Configuración: Una vez conocidas las coordenadas, estas deben ser introducidas en la herramienta eMotion.
- Lanzamiento: Se debe mover hasta 3 veces el U.A.V. para encender el motor y posteriormente lanzarlo para, capturar imágenes y aterrizar por sí solo.
- Seguimiento: Para observar ciertos parámetros de vuelo se usa eMotion adjuntando que es posible manipularlo si es necesario, incluso si este está en marcha.

### **3.9. Medición de radiación térmica: Cámara térmica**

Una cámara térmica es un dispositivo que permite transformar los valores de radiación térmica captados por una escena en una imagen. Para mayor comodidad se usa una imagen en escala de grises, utilizando el color negro para representar objetos de menor temperatura y el blanco para objetos de mayor temperatura. Si se usa un proceso más complejo de “traducción”, se pueden utilizar colores. En esos casos se suele usar el azul para las más imágenes frías y rojo para las zonas más calientes (Sánchez, 2007).

La ventaja del uso de cámaras térmicas es que estas no dependen ni del contraste de los objetos ni de la luz visible reflejada. El funcionamiento se puede determinar mediante pequeñas diferencias de temperatura entre el entorno y su blanco a detectar, en este sentido se generan imágenes de calidad tanto de día como de noche. Estos equipos son una alternativa a las cámaras de luz visible. No necesitan infraestructura especial o iluminación, no poseen límite de distancia debido a la ausencia de luz solar; otra característica especial es la inmunidad a la mayoría de los métodos de camuflaje (RNDS, 2015).

Estas cámaras funcionan mostrando y detectando variaciones de energía térmica. En los inicios de estos sistemas, los detectores debían ser enfriados a temperaturas muy bajas ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), logrando identificar temperaturas alrededor de los 0,03 grados. Las cámaras eran cargadas con nitrógeno líquido para alcanzar la temperatura adecuada. Con el tiempo para tener una buena calidad de imagen, se incorporaron módulos con enfriadores y detectores. (RNDS, 2015).

En relación a lo que menciona (Sánchez, 2007) los principales componentes con los que cuentan las cámaras térmicas se mencionan los siguientes:

Lente: El lente enfoca los rayos de radiación IR sobre el detector. En estos equipos, el lente suele fabricarse de germanio, ya que el vidrio es un material opaco a la radiación IR. Haciendo una analogía con la visión, el lente sería como el cristalino del ojo.

Detector: Es la pieza fundamental encargada de detectar la radiación IR y convertirla en una señal eléctrica. Existen diferentes tipos de detectores, los más usados son los de BST y los microbolómetros, en cámaras bomberiles. Estos sensores son contruidos a partir de semiconductores. En algunas cámaras usadas en detección remota o no bomberiles, para mejorar su sensibilidad se debe enfriar los detectores a bajas temperaturas. Haciendo una analogía con la visión, el detector sería como los conos del ojo, que transforma la luz visible en una señal eléctrica que sale por el nervio óptico.

Procesador: Es una pequeña computadora que interpreta la señal enviada por el detector y la transforma en otra señal para ser utilizada en una pantalla. En el caso de la visión el procesador sería el cerebro, quien interpreta la señal eléctrica del nervio óptico y la aprecia como una imagen.

### **3.10. Procesamiento de imágenes aéreas térmicas**

#### ***3.10.1. Representación digital de imágenes***

“Una imagen digital está compuesta de un número finito de elementos y cada uno tiene una localidad y un valor particular. A estos elementos se les llama píxeles, que denotan la unidad mínima de medida de una imagen digital” (Aguirre, 2013).

El manejo de imágenes por computadora o procesamiento digital, incluye el apoyo de varias ciencias. Existen varios factores importantes para indicar una mayor tendencia a futuro del procesamiento digital de imágenes. El principal factor es la disminución de costos en los equipos

de cómputo. Un segundo factor es el aumento de equipos para la digitalización de imágenes (DEA, 2014).

Es importante destacar que nuevas tecnologías prometen avances en relación al procesamiento de imágenes en los próximos años. Entre las más destacadas se pueden mencionar, redes neuronales, procesadores matriciales, uso de CCD de alta resolución, y procesamiento paralelo. Las imágenes se pueden representar de distintas formas, algunas son visibles y otras no, algunas reales y otras abstractas (DEA, 2014).

Una cámara infrarroja detecta el enfriamiento en la superficie de la muestra; esta información es almacenada en una serie de imágenes infrarrojas, para posteriormente realizar un análisis. Las imágenes capturadas pasan por una fase de pre procesamiento en la cual se excluyen fenómenos como efectos de viñetas, píxeles defectuosos y pautas de ruido fijos. El último paso es disminuir la intensidad en las orillas de la imagen ya que por el principio limitado de las lentes de la cámara; en este punto, los niveles de píxeles grises también se convierten en valores de temperatura (Benítez , 2017).

### ***3.10.2. Procesado de imágenes con Pix4D***

Pix4D es un software fotográfico encargado de generar nubes de puntos mediante una serie de imágenes superpuestas para diseñar ortomosaicos, de superficie digital y topografía (MDS, MDT), así como mapeo bidimensional y modelos 3D (Martínez, 2015).

Según lo mencionado por (Martínez, 2015) el procesado de imágenes mediante Pix4D se realiza mediante diferentes pasos, que se mencionan a continuación:

- Una vez abierto el programa, primero se debe especificar la ubicación del proyecto y seleccionar las imágenes que se van a procesar.



- Al hacer clic en «Siguiente» se abrirá una pantalla donde se muestra si las imágenes se han georreferenciado correctamente.
- En la siguiente ventana se elige el tipo de proyecto que se va a llevar a cabo, obtener un ortomosaico, un DSM y una nube de puntos que se seleccionen como el tipo de proyecto Standard 3DMaps.
- Se inicia la edición. El procesamiento se puede dividir en tres bloques, que son mejores para procesar individualmente si hay un error y se sabe en qué fase se encuentra el problema. El procesamiento inicial (bloque 1) prácticamente se llevará a cabo en el sitio, ya que después de este procesamiento PiX4D se genera un informe con información importante, que indica si la superposición entre las imágenes es suficiente y si las imágenes se tomaron en la posición correcta.
- Bloque 1: primer procesamiento.
- Bloque 2: nube de puntos y red.
- Bloque 3: MDB, ortomosaico e índices.

### **3.11. Cambio climático**

Según la Convención Marco sobre Cambio Climático se define al cambio climático como modificaciones del clima por acción indirecta o directa de las actividades antrópicas, que alteran la composición de la atmósfera y que se suma a las variaciones naturales del clima y puede ser comparada durante períodos de tiempo establecidos (Naciones Unidas, 1992).

Algunos de los factores que aportan a las modificaciones de temperatura media en la tierra y el cambio climático son el incremento de emisiones de CO<sub>2</sub>, cambios del nivel en los mares, emisión de aerosoles a la atmósfera, gas metano, además los cambios en el campo magnético y cambios de reflexión terrestres, se pueden mencionar otros factores como los cambios de los glaciares, la

contaminación del aire, agua y suelo, y la cantidad de energía solar que llega a la Tierra (Miller, 2007).

### **3.12. Escenarios de cambio climático RCP**

Las estimaciones en los cambios climáticos se llevan a cabo empleando modelos climáticos, mismos que pueden ser sencillos o integrales, pasando por modelos del sistema Tierra o de dificultad intermedia. Cualquiera de estos modelos simula cambios en base a un conjunto de escenarios de forzamientos antropogénicos. Simulaciones de modelos climáticos, realizados en el marco de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, han propuesto un nuevo conjunto de escenarios: las trayectorias de concentración representativas (RCP por sus siglas en inglés). Las condiciones de todas las RCP comparan las concentraciones acumuladas en la atmósfera durante el siglo XXI, con el incremento de dióxido de carbono en 2100, producto de un mayor aumento de las actividades desarrolladas por el ser humano durante los últimos años (IPCC, 2013).

#### ***3.12.1. Cambio climático escenario 2.6***

El escenario RCP de cambio climático 2.6 es considerado un escenario de declinación, en el cual se prevé una reducción considerable en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante el lapso de los próximos años, para lograr este escenario el forzamiento radiativo llega a un nivel de 3.1 W/M2 en 2050 y para el 2100 alcanza 2.6 W/M2, además las concentraciones de CO2 se estiman en un nivel máximo de 421 ppm, considerando estas condiciones la temperatura es probable que no sobrepase los 2°C (Armenta et al. 2016).

#### ***3.12.2. Cambio climático escenario 8.5***

El escenario de cambio climático RCP 8.5 es un escenario extremo en el cual las emisiones de gases de efecto invernadero se encuentran en incremento durante los próximos años, se consideran

valores de forzamiento radiativo de 8.5 W/M<sup>2</sup> para el año 2100; además de niveles de concentración de CO<sub>2</sub> de 936 ppm, estas condiciones se mantienen en constante aumento por lo cual se considera un incremento en la temperatura global de 4°C (Armenta et al. 2016).

### ***3.12.3. Análisis Predictivos: Uso del software Maxent***

Es una herramienta que se utiliza para realizar análisis predictivos, usando datos geográficos con ciertas características, se manejan archivos de entrada con coordenadas en donde se muestra la dispersión de las especies que van a ser estudiadas, adicionándole variables de carácter ambiental, para obtener como resultado la distribución potencial de la muestra (Geoinnova Formación, 2017).

Una de las ventajas que ofrece este software es la modelización de los hábitats de las especies con muestra de datos ya sean completos o incompletos en diferentes situaciones tanto beneficiosas o adversas al caso de estudio; por lo que es posible extrapolar información, teniendo como resultado mapas que fueron generados con la característica predictiva para la distribución potencial de la muestra bajo ciertas condiciones (Geoinnova Formación, 2017).

Uno de los mejores modelos utilizados dentro de Maxent es CanESM5 para el análisis de cambio climático, como lo menciona (Hausfather, 2019) “se encuentra con un rango de sensibilidad climática de equilibrio con valores de 1,5 a 4,5 °C, para el respectivo modelo se tiene un 66% de probabilidad de que el valor se encuentre en ese rango”.

### ***3.12.4. Base de Datos Climáticos: WorldClim***

WorldClim es una base de datos en línea que cuenta con un conjunto de capas climáticas de todo el mundo, estos datos climáticos se encuentran en cuadrícula y en formato GeoTiff, estos conjuntos de datos se pueden usar para modelado espacial y mapeo. La versión 2.1 de

WorldClim contiene datos climáticos mensuales promedio para el período comprendido entre los años 1970-2000 con distintas resoluciones espaciales, desde 30 segundos (~ 1 km<sup>2</sup>) a 10 minutos (~ 340 km<sup>2</sup>). La base de datos incluye las principales variables climáticas como temperatura mínima, media y máxima, precipitación, velocidad del viento, presión del vapor de agua y radiación, además de otras 19 variables que pueden ser utilizadas para los modelos predictivos. (Hijmans y Fick, 2017).

### **3.13. Uso de suelo**

De acuerdo con (Chantre, 2017), el uso de suelo se encuentra categorizado y presenta diferentes características debido a las modificaciones, actividades e insumos que el ser humano desarrolla en un determinado tipo de cobertura de suelo enfocado a producir, cambiarlo o mantenerlo.

“El uso del suelo, es la utilización de las tierras en el sector rural del país. Así, encontramos las siguientes categorías: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos” (INEC, 2012).

### **3.14. Mortiño**

“El mortiño pertenece al reino Plantae, al filo Magnoliophyta, la clase Magnoliopsida, al orden Ericales, la familia Ericaceae, nombre científico: *Vaccinium floribundum Kunth*, y sinonimia *Vaccinium mortinia*” (Santamaría et al. 2012).

Esta especie vegetal se considera como un fruto sagrado debido a que posee propiedades antioxidantes, es coadyuvante en la microcirculación retiniana y sobre todo anti agregación plaquetaria; los habitantes que están cerca de los lugares del mortiño lo usan para aliviar diferentes afectaciones en la salud de las personas como fiebres, cólicos, reumatismo, malestares del hígado, riñones y dolores pulmonares (Santamaría et al. 2012).

También denominado el arándano de los páramos perteneciente a la familia Ericaceae, se encuentra en Ecuador especialmente en las praderas y páramos, caracterizado por su color oscuro y de apariencia esférica de aproximadamente 7 milímetros y en su interior presentando semillas de un tamaño muy pequeño. Este ejemplar crece hasta los 2.5 metros de altura, presentando flores de color rosa presentando una agradable apariencia (Santamaría et al. 2012).

### **3.15. Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF)**

Con forme lo menciona la plataforma (GBIF, 2020).

La infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad, es una organización internacional y una red de datos financiada por gobiernos de todo el mundo, destinada a proporcionar a cualquier persona, en cualquier lugar, acceso abierto y gratuito a datos sobre cualquier tipo de forma de vida que hay en la Tierra. Está coordinada a través de su Secretaría en Copenhague y proporciona a las instituciones proveedoras de datos de todo el mundo estándares comunes y herramientas de código abierto que les permiten compartir información sobre dónde y cuándo se han registrado las especies. Este conocimiento procede de diversas fuentes, que incluyen desde especímenes de museos recogidos en los siglos XVIII y XIX hasta fotografías de teléfonos inteligentes geoetiquetadas y compartidas por naturalistas aficionados en los últimos días y semanas.

La red de GBIF organiza todas esas fuentes mediante el uso del estándar Darwin Core, que constituye la base del índice GBIF.org de cientos de millones de registros de especies. Los proveedores ofrecen acceso abierto a sus juegos de datos eligiendo del listado de distintos tipos de licencias “*Creative Commons*”, lo que permite a los científicos, investigadores y otros usuarios aplicar o usar los datos cada año. Muchos de estos análisis, que abarcan temas como los impactos del cambio climático y la propagación de plagas

invasivas y exóticas a las prioridades para la conservación y las áreas protegidas, la seguridad alimentaria y la salud humana, no serían posibles sin ello.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Equipos utilizados

Para la realización del trabajo tanto en las fases de campo como de análisis se utilizaron diferentes equipos, los mismos que se presentan a continuación en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Equipos y Softwares utilizados*

<b>Equipos</b>	Dron ebee SenseFly (Figura 1)
	Laptop Lenovo (Figura 2)
	Cámara Thermomap (Figura 3)
<b>Softwares</b>	Emotion
	Pix4D
	Maxent
	Arcgis

*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020)

A continuación, se presentan imágenes de los equipos utilizados.

**Figura 1:**

*Drone eBee SenseFly*



**Figura 2:**

*Laptop Lenovo*



**Figura 3:**

*Cámara Thermomap*



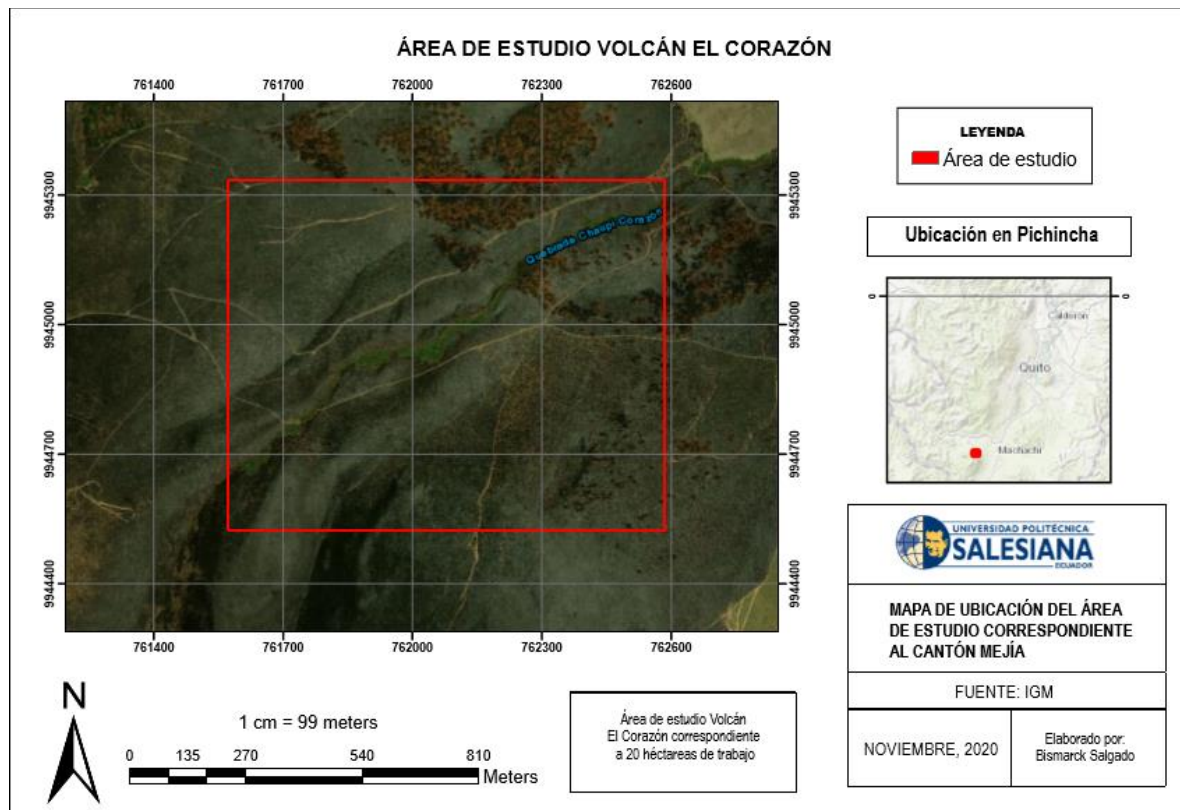
#### **4.2. Descripción del área de estudio**

El presente trabajo se realizó en el Volcán El Corazón precisamente a las faldas del mismo, ubicado en el cantón Mejía, provincia de Pichincha, Ecuador; que a la vez posee tres cumbres y una altura de 4788 msnm (Figura 4).



**Figura 4:**

*Área de estudio*



*Nota.* La figura representa el área de estudio correspondiente al volcán El Corazón, ubicado en la provincia de Pichincha, Cantón Mejía.

#### **4.2.1. Planificación**

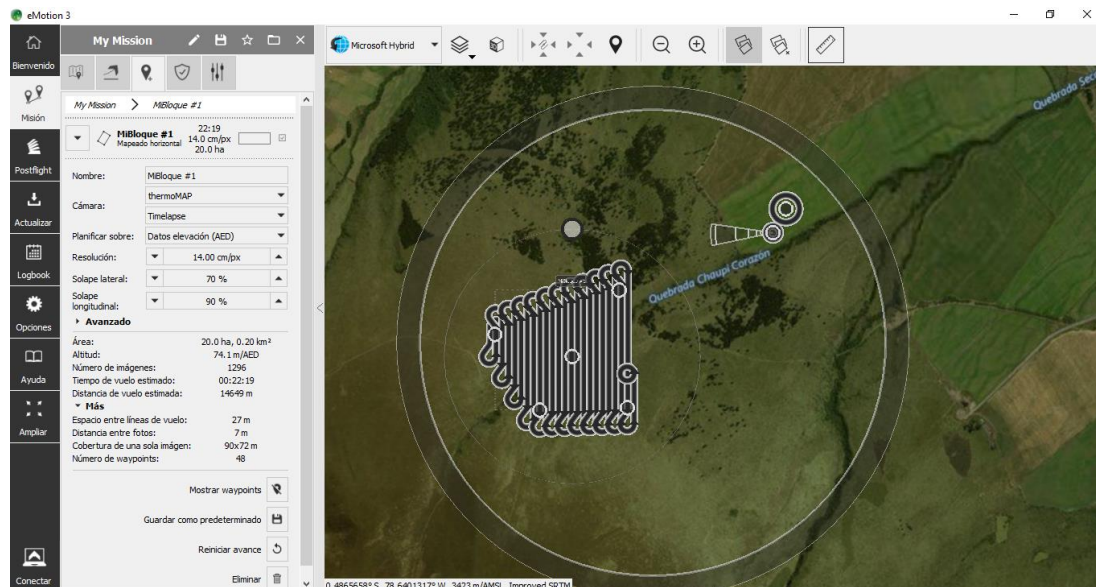
Esta etapa fue empleada para determinar el tiempo necesario para llegar a la zona de estudio, además de determinar la ruta de acceso más eficiente y rápida para evitar cualquier tipo de inconveniente al momento de llegar al área mencionada, se planifico el vuelo a realizarse, además de seleccionar los diferentes softwares que serán utilizados para la recolección de imágenes aéreas y el procesamiento de las mismas.

#### 4.2.1.1. Planificación de vuelo

Se efectuó un plan de vuelo del área de estudio para realizarse durante los cinco días de estudio, con la ayuda del programa eMotion para dirigir el trayecto del U.A.V., utilizando la cámara Thermomap, la encargada de tomar imágenes térmicas de la superficie del suelo del Volcán El Corazón, además del conteo de la cantidad de las mismas, las coordenadas del área, el tiempo de vuelo del vehículo aéreo no tripulado, la velocidad del viento y las condiciones climáticas en las que se encontraba para cada vuelo. A continuación, se puede observar en la figura 5 la planificación realizada.

**Figura 5:**

*Planificación de vuelo en el Volcán El Corazón.*



*Nota.* Para realizar la planificación del vuelo del dron se utiliza el software eMotion que nos brinda diferentes características de la zona de estudio.

Es necesario mencionar que la planificación del vuelo se la realiza con anterioridad con el único fin de ahorrar tiempo durante la salida a campo.

#### ***4.2.2. Etapa de campo***

Con respecto a esta fase, fue empleada para la recolección de las imágenes aéreas, con la planificación de los vuelos realizada previamente, se revisó todos los componentes del dron, de la cámara, junto con los programas para el vuelo y proceso de imágenes en la sección de campo (Figura 6).

##### **Figura 6:**

*Vista panorámica del área de estudio*



##### **4.2.2.1. Recolección de imágenes aéreas**

Al momento de llegar a las faldas del volcán se procedió a encender la computadora para empezar el vuelo, ya que la planificación estaba realizada previamente (Figura 7) y el U.A.V. se armó con mucho cuidado ya que este aparato es sensible; el mismo fue lanzado en dirección horizontal con una inclinación de 45 grados con respecto al suelo teniendo en cuenta la dirección del viento (Figura 8), de ese modo el dron despegó para sobrevolar por el punto de inicio y por consiguiente empezó a tomar las fotografías del área de estudio seleccionada.

**Figura 7:**

*Preparación del equipo*



**Figura 8:**

*Lanzamiento del dron*



*Nota.* El lanzamiento del dron ebee debe realizarse con una inclinación de  $45^\circ$  con respecto a la superficie del suelo.

#### ***4.2.3. Etapa de análisis***

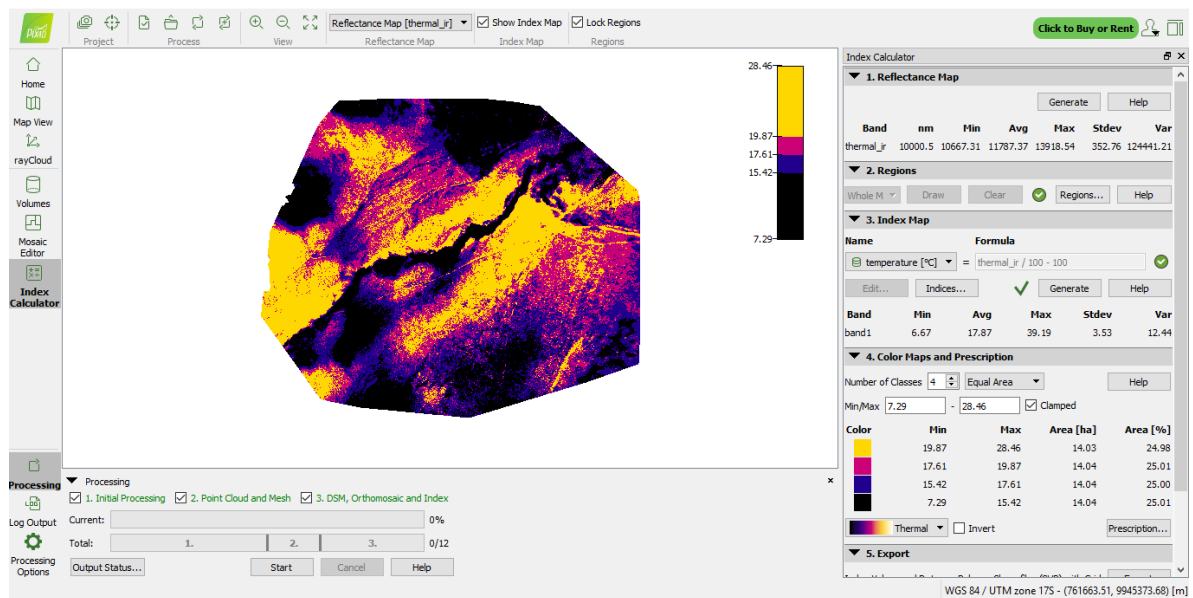
Durante esta fase del estudio se realizó el procesamiento de las imágenes aéreas obtenidas en campo, mediante la utilización del software Pix4D a través del cual se pudieron obtener los mapas requeridos para el posterior análisis de los resultados obtenidos.

#### 4.2.3.1. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las imágenes aéreas obtenidas fue realizado con la ayuda del programa Pix4D, para generar esta información una vez abierto el programa se cargaron las imágenes obtenidas por los vuelos del dron, las coordenadas del proyecto se cargan automáticamente, en este caso se trabajó bajo WGS 84/ UTM zona 17S, cuando el procesamiento de las imágenes termina los resultados que se obtuvieron fueron nubes de puntos, Modelo de Superficie Digital (DSM), ortomosaicos y los mapas de calor en formato ráster que serán utilizados posteriormente en ArcGis para el respectivo análisis como se puede observar en la figura 9.

**Figura 9**

*Elaboración de ráster térmico en Pix4D*



*Nota.* El mapa térmico nos indica las temperaturas máximas y mínimas de la zona de estudio.

#### 4.2.3.2. Representación de mapas térmicos en ArcGis

Una vez obtenidos los mapas de calor mediante el software Pix4D, producto del procesamiento de las imágenes recolectadas, se procedió a cargar el archivo obtenido en formato ráster al programa ArcGis. En este software se realizó una reclasificación de los valores de temperatura de

las imágenes en 22 clases, posteriormente se identificó la zona quemada y la zona no quemada y mediante la creación de polígonos se procedió a separar por áreas las temperaturas de ambas zonas, tomando valores correspondientes a un rango de 20 a 28 °C, mismos que fueron reportados en la zona. De la misma forma se separaron las zonas por altitud y de igual manera se extrajeron los datos de temperatura.

Todo lo mencionado se realizó para las cuatro fotos obtenidas de la etapa de campo, con la finalidad de obtener un total 8 datos de temperatura correspondientes a la comparación de zona quemada y no quemada, con los cuáles se determinará la relación de la temperatura de las dos zonas de estudio.

#### **4.3. Análisis de correlación**

El análisis de correlación será utilizado para establecer la relación que existe entre la temperatura superficial del suelo y la altitud en la zona de estudio, tanto en el área afectada por el incendio como en el área que no se vio influenciada por el suceso.

#### **4.4. Análisis ANOVA**

El análisis ANOVA va a ser utilizado para determinar si existe una relación entre las temperaturas obtenidas en la zona quemada con la zona no quemada correspondiente al Volcán “El Corazón” y su comportamiento un año después de ocurrido el incendio.

##### ***4.4.1. Planteamiento de hipótesis***

En la presente investigación se plantearon dos hipótesis, una nula y otra alternativa, las cuales nos permitirán obtener una explicación del comportamiento de la temperatura en la zona de estudio.

**Hipótesis nula (Ho):** Un año después de ocurrido el incendio, los valores de temperatura en la zona quemada son iguales que los reportados en la zona que no fue afectada por el incendio.

**Hipótesis alternativa (Hi):** Un año después de ocurrido el incendio, los valores de temperatura en la zona quemada son distintos que los reportados en la zona que no fue afectada por el incendio.

#### **4.5. Análisis de registros de *Vaccinium floribundum Kunth***

Durante esta etapa del estudio se analizaron los registros de mortiño, además de generar los respectivos mapas de distribución potencial de la especie, escenarios de cambio climático RCP 2.6 y RCP 8.5; y uso de suelo.

##### **4.5.1. Obtención de registros de *Vaccinium floribundum Kunth* y depuración de los mismos**

- Se usó la página Gbif para obtener la información de ocurrencia de la especie.
- Fue necesario filtrar los registros de la base de datos por el país y la opción de representación de coordenadas geográficas, obteniendo un total de 465 registros de la especie.
- Una vez obtenido el archivo csv se cargó en ArcGis para filtrar nuevamente los puntos, ya que existían datos repetidos, además se realizó un buffer de 1 km alrededor de los puntos para evitar la superposición de los mismos y obtener datos más reales para el modelo, obteniendo un total de 137 registros
- Finalmente, el archivo obtenido se pasó a un bloc de notas, para ordenar los datos, especialmente se separó con comas y nuevamente se subió a Excel con formato csv delimitado por comas.



#### ***4.5.2. Obtención de variables bioclimáticas, procesamiento de capas***

- Las variables fueron descargadas desde la página de WorldClim con una resolución de 1km (30 segundos) en formato tiff.
- Se cargó en ArcGis las 19 variables bio climáticas (tabla 2) se procedió a cortarlas con la capa del territorio de Ecuador usando la herramienta “Clip”, para así obtener los ráster de las 19 variables mencionadas con relación al país y conocer las condiciones climáticas para la proyección de la especie vegetal estudiada.
- Cada uno de estos formatos ráster se los transformó en un archivo asc con la herramienta de ArcToolBox > Conversion Tools > From Raster > Raster to ASCII.
- Al momento de generar los archivos en este nuevo formato asc se puede perder el sistema de coordenadas, por lo que fue necesario volver a proyectar las coordenadas en WGS 84 usando la opción Project, que se la puede encontrar con CTRL+F.



**Tabla 2:***Lista de 19 variables bioclimáticas utilizadas en el modelo*

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
BIO 1	Temperatura media anual (°C)
BIO 2	Oscilación diurna de la temperatura (°C)
BIO 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) * (100)
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO 5	Temperatura máxima del mes más caliente (°C)
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
BIO 7	Oscilación anual de la temperatura (BIO5 – BIO6)
BIO 8	Temperatura media del estado más lluvioso (°C)
BIO 9	Temperatura media del estado más seco (°C)
BIO 10	Temperatura media del estado más cálido (°C)
BIO 11	Temperatura media del estado más frío (°C)
BIO 12	Precipitación anual (mm)
BIO 13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
BIO 16	Precipitación del trimestre más lluvioso
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío

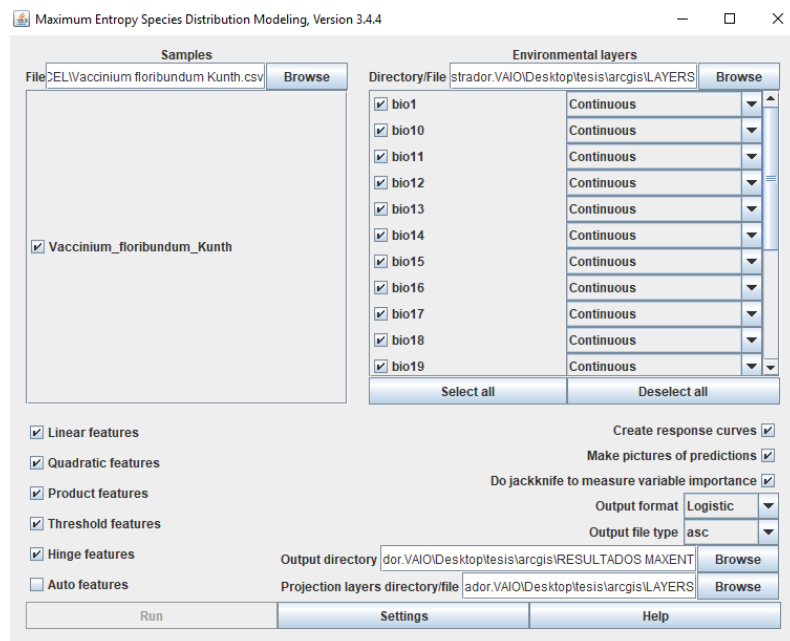
*Nota.* Tomado de WorldClim.

#### 4.5.3. Modelado de distribución de *Vaccinium floribundum* Kunth en Maxent

- Una vez que se obtuvieron los archivos asc de las 19 variables bio climáticas y los datos de la especie vegetal en estudio en formato Excel csv delimitado por comas, se procedió a subirlos a Maxent, es importante mencionar que estos archivos permanecieron en una sola ubicación (figura 10).
- Se seleccionó la opción Bootstrap, esto significa que cada muestra de bootstrap puede tener valores repetidos y se prueba en las observaciones no seleccionadas; además con un 70% de porcentaje de testeo y con 100 réplicas (figura 11).
- Se corrió el programa en “run” para obtener los resultados.
- Una vez que se obtuvieron los resultados, se seleccionó las mejores variables para realizar el mismo procedimiento y generar el mapa de distribución final.

**Figura 10**

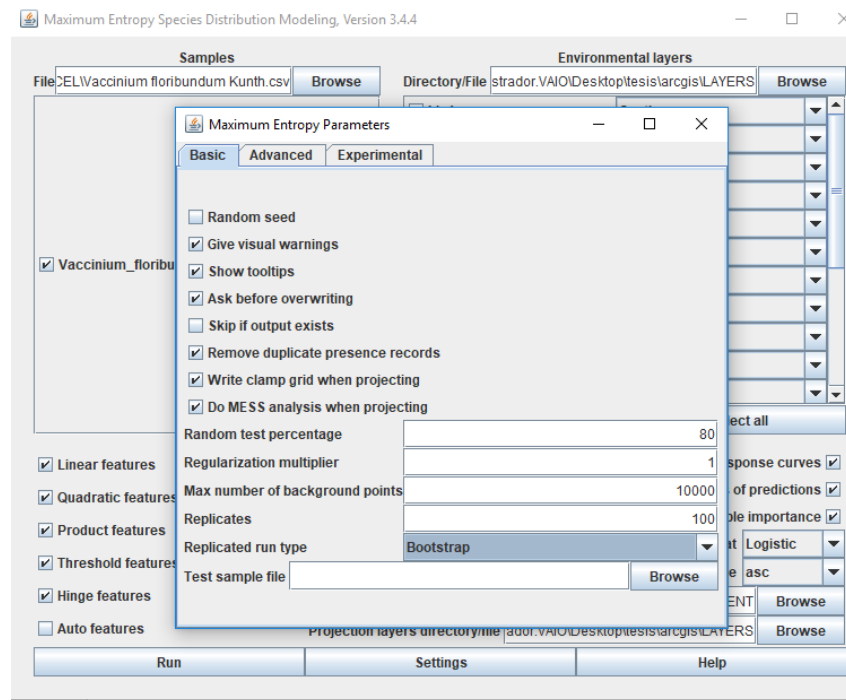
Modelado en Maxent con variables bioclimáticas



*Nota.* En la figura se presentan los registros de mortiño, junto con las 19 variables bioclimáticas utilizando 100 repeticiones con la opción bootstrap.

**Figura 11**

*Configuración de Maxent*



#### **4.5.4. Procesamiento de archivos asc en ArcGis y generación de mapas de distribución potencial de *Vaccinium floribundum Kunth***

- El archivo asc que se obtuvo del proceso en Maxent (4 variables) se subió a ArcGis, el cual se transformó a ráster con la herramienta del “ArcToolBox”, luego en “Conversion Tools”, “To Ráster” y finalmente en “ASCII to ráster”.
- Con el ráster obtenido se utilizó la herramienta de “Reclassify” para obtener la distribución potencial con los valores obtenidos en Maxent (0.25; 0.50; 0.70; 1).
- El archivo que se reclasificó se lo convirtió en polígono con la opción de “Ráster to Polygon” con el cual se pudo calcular el área potencial de distribución de la especie de estudio.
- Para el mapa en que intervienen áreas protegidas se utilizó los archivos shapefile de áreas protegidas que se encuentra en la página del Sistema Nacional de Información, además

se usó la herramienta “Clip” para escoger las áreas correspondientes a tu probabilidad de ocurrencia de 0.7 a 1.

- Los mapas de bosques, zona antrópica, zona de cultivos y zona vegetativa se generaron a partir de la unión de archivos “shp” de uso de suelo en la que se utilizó de igual manera la herramienta “Clip” para definir cada uso de suelo, además de calcular el porcentaje de área que ocupa dicha especie en las distintas zonas.

#### **4.5.5. *Procesamiento de archivos asc en ArcGis y generación de mapas de cambio climático (escenarios RPC 2.6 y 8.5) de *Vaccinium floribundum* Kunth***

- Se usó el Modelo CanESM5 el cual simula los cambios conjuntamente con las variables climáticas obteniendo un resultado predictor estacional.
- Las variables necesarias para generar el modelo se descargaron desde WorldClim, con una resolución espacial de 2.5 minutos, puesto que la resolución de 30 segundos no se encontraba disponible correspondiente a RCP 2.6 Y RCP 8.5.
- De igual manera estas variables se procesaron por ArcGIS para transformarlas en formato “asc”; posteriormente se cargaron a Maxent para generar el modelo de distribución de la especie.
- Este archivo resultante se procedió a cargarlo nuevamente en ArcGIS para establecer las áreas que se verán afectadas por el cambio climático según el tipo de escenario.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis del efecto de los incendios forestales

Se obtuvieron 4 datos de temperatura en la zona quemada y 4 en la zona no quemada, correspondientes a los cuatro días de trabajo en campo, estos datos representan la temperatura superficial del suelo en cada zona. A continuación, se muestra la tabla 3 en la cual se puede evidenciar los valores de los 4 días que se tomaron datos en cada zona de estudio.

**Tabla 3**

*Promedios de temperatura en la zona de estudio*

Día	Temperatura [°C]	
	Quemada	No quemada
1	18.85	19.13
2	19.14	18.82
3	18.91	19.57
4	18.78	19.46

*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020)

Como se puede observar las variaciones de áreas en ambas zonas no son significativas por lo cual se determina que existe una recuperación de la temperatura superficial del suelo un año después de ocurrido un incendio. Sin embargo, no se puede sacar conclusiones solo de la observación de datos, es por eso que se realizó un análisis ANOVA considerando 2 tratamientos (zona quemada y zona no quemada), cuatro repeticiones correspondientes a los días en los que se tomaron los datos, obteniendo un total de 8; para analizar si los datos de temperatura superficial, un año después de ser quemado el suelo son similares a los valores de una zona que no fue afectada por un incendio.

A continuación, en la tabla 4 podemos observar los resultados del análisis ANOVA

**Tabla 4***Resumen del análisis ANOVA*

<i>Grupos</i>	<i>N° Datos</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Zona Quemada	4	75.68	18.92	0.02433333
Zona no Quemada	4	76.98	19.245	0.11523333

*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020)

Se puede observar cómo se mencionó anteriormente el análisis de dos tratamientos con 4 datos cada uno y podemos ver como en la columna de promedio la variación de los mismos no es representativa, indicando que en ambos casos los datos son casi similares y no existe una gran variación, de igual manera para tener una mejor apreciación de los resultados obtenidos se realizó una prueba F de Fisher con la cual se puede aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

**Tabla 5***Análisis de varianza*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.21125	1	0.21125	3.02722713	0.132530014	5.987377607
Dentro de los grupos	0.4187	6	0.069783333			
Total	0.62995	7				

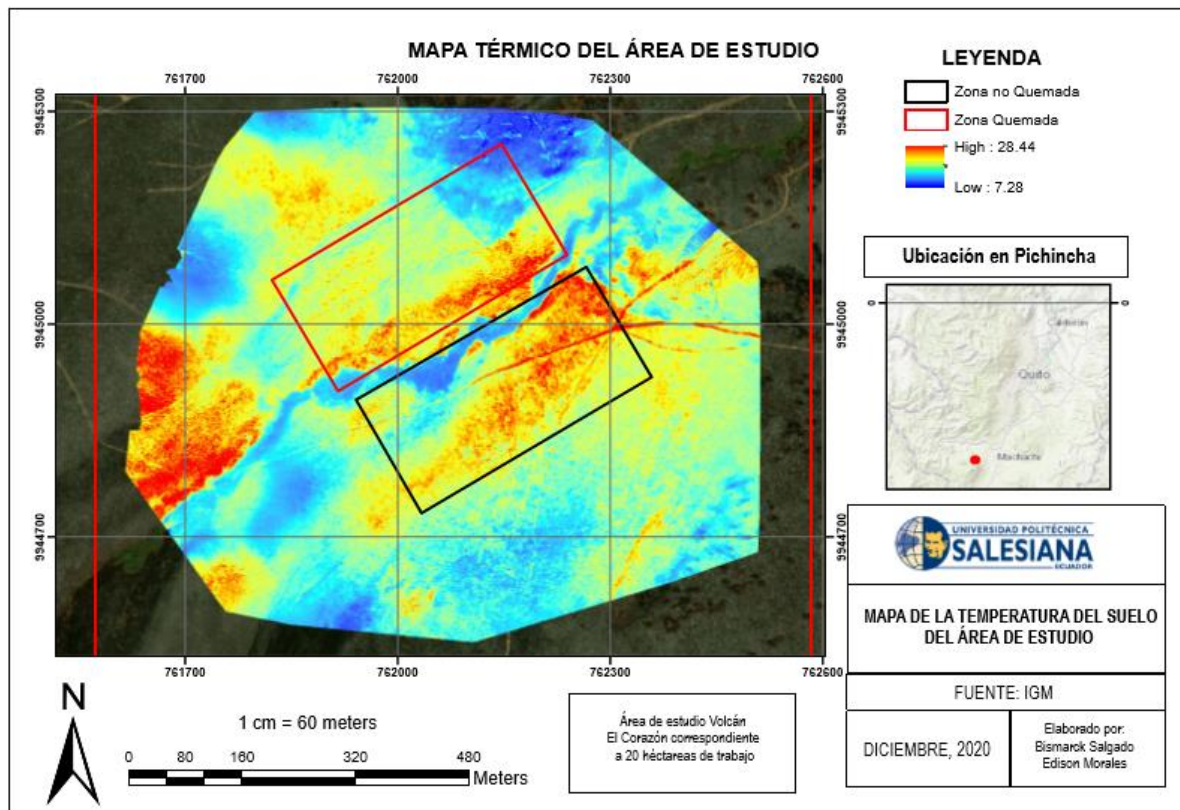
*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020)

En la tabla 5, una vez realizada la prueba de Fisher con un rango de 5% de error podemos ver que el valor de F calculado es de 3.027 comparado con el valor crítico para F de 5.98 se concluye que el valor calculado cae dentro de la zona de aceptación por lo cual la hipótesis nula planteada es aceptada, con dicho análisis decimos que la temperatura superficial de la zona quemada, un año después del incendio se iguala a la temperatura del área que no se vio afectada por el fuego.

Como se puede apreciar en la figura 12 los niveles de temperatura son similares en ambas zonas, determinando que existen otro tipo de factores que influyen en la temperatura superficial de un suelo. Es importante mencionar que para determinar el espacio de cada zona tanto quemada como no quemada, se usó como limitante la quebrada que se encuentra en el área de estudio, debido a que la misma sirvió para frenar el avance de las llamas de un lugar a otro; de igual manera, para evitar la influencia de datos que podrían alterar el estudio se dividió cada zona en diferentes polígonos para obtener valores lo más cercano posible a los reales, excluyendo de tal manera a secciones que representan carreteras y tienen temperaturas más elevadas que el resto de la zona.

**Figura 12**

*Mapa térmico del área de estudio*



*Nota.* Se puede observar el mapa térmico de la zona de estudio registrando valores de temperatura máxima de 28.44 °C y una temperatura mínima de 7.28 °C

Según los datos de (Llambi y Soto, 2012) la amplitud térmica del suelo de los páramos es grande, contando con bajas temperaturas por las noches e incluso llegando alcanzar valores superiores a los 25 °C por las mañanas, de acuerdo a estos registros se puede evidenciar la correspondencia con los datos obtenidos en esta investigación donde en promedio podemos encontrar valores de temperatura mínimos de 7.28 °C y una temperatura máxima de 28.44 °C, por lo tanto de acuerdo con los rangos de temperatura de entre 8 y 16 °C que proporciona (Santamaría et al. 2012) la zona del Volcán “El Corazón” es un área donde se encuentran poblaciones de mortiño, que se pueden ver afectadas al momento de ocurrir un incendio.



Un incendio forestal puede afectar inicialmente la temperatura del suelo, pero no siempre ocurre de esta forma, en este caso podemos ver como un año después del evento la temperatura empieza a retomar sus valores naturales, es por eso que existen otros factores que pueden modificar la temperatura superficial, según la (FAO, 1996) la temperatura en climas de montaña como los páramos, conforme aumenta la altitud disminuye en relación de 6.5 °C cada mil metros.

De acuerdo con la tabla 6, la cual representa la temperatura en el área que fue afectada por el incendio, se puede evidenciar como a medida que la altitud en la zona de estudio aumenta, la temperatura disminuye; indicando una relación inversa en la cual las zonas de menor elevación cuentan con temperaturas mayores, teniendo relación con lo presentado por la FAO la cual indica que la temperatura de los páramos disminuye con la altitud.

**Tabla 6:**

*Temperatura superficial según la altitud en la zona quemada*

<b>Zona Quemada</b>	
<b>Altitud [m]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
3680	21.5
3700	21.71
3720	20.65
3740	20.16
3760	19.86
3780	19.59
3800	18.41

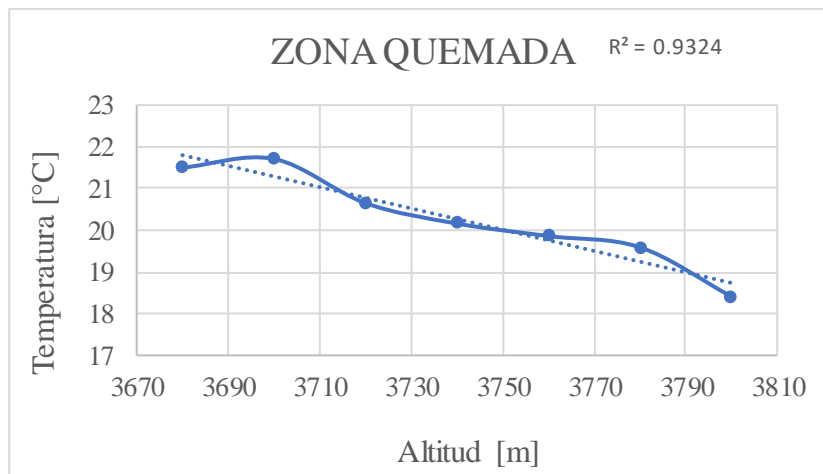
*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020)

En la figura 13 podemos evidenciar la distribución de los datos de temperatura correspondiente a la zona quemada, es notable identificar como la temperatura superficial disminuye con respecto al aumento de la altitud, en el punto más bajo correspondiente a los 3680 msnm se tiene un valor de temperatura de 21.5°C mientras que al llegar al punto más elevado con 3800 msnm la temperatura ha disminuido a 18.41°C.

Al realizar una regresión lineal de los datos presentados, como ya se mencionó se observa una tendencia de disminución de la temperatura con respecto al aumento de la altitud, al obtener el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tenemos un valor de 0.9324 de acuerdo con (Laguna, 2014) cuando el  $R^2$  es cercano a 1 el ajuste de los datos es bueno indicando una fuerte relación entre las variables de estudio; considerando esto se determina que la altitud influye en la temperatura de la zona de estudio a pesar de ser un área que ha sido afectada por un incendio

**Figura 13**

*Gráfico de dispersión en la zona quemada*



A continuación, se muestra la tabla 7 correspondiente a los valores de temperatura superficial en la zona que no fue afectada por el incendio, como se puede observar la tendencia de los valores de temperatura es disminuir conforme la altitud de la zona aumenta, de igual manera como se

determinó en la zona quemada, la relación de estos valores es inversa y concordando con lo reportado por la FAO donde se menciona la disminución de la temperatura con relación a la altitud en zonas de paramo.

**Tabla 7**

*Temperatura superficial según la altitud en la zona no quemada*

<b>Zona No Quemada</b>	
<b>Altitud [m]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>
3680	22.34
3700	20.64
3720	19.61
3740	19.57
3760	18.91
3780	18.67
3800	18.39

*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020)

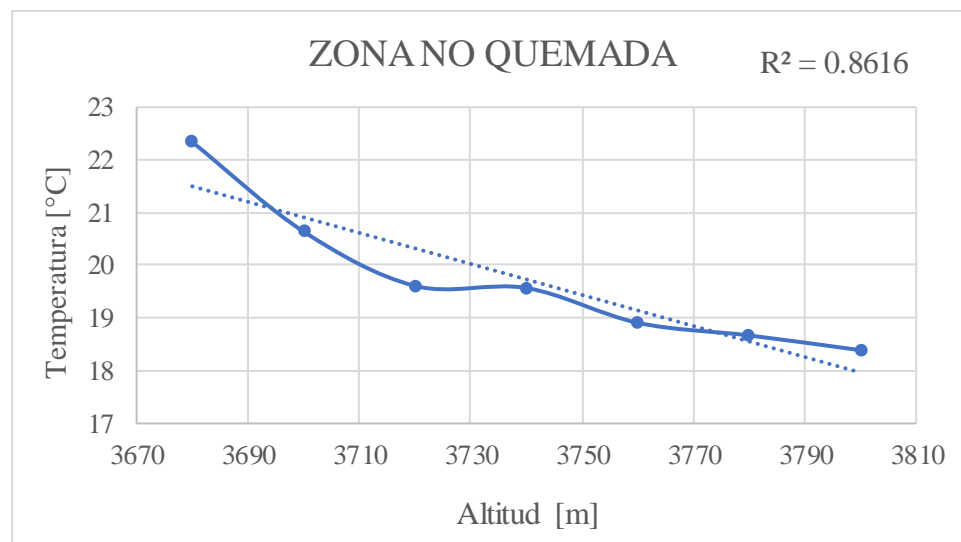
En la figura 14 se observa la distribución de los datos de temperatura correspondiente a la zona no fue afectada por el incendio, en este caso, de igual manera se puede notar como la temperatura superficial disminuye con respecto al aumento de la altitud, en el punto más bajo correspondiente a los 3680 msnm se tiene un valor de temperatura de 22.34°C mientras que al llegar al punto de mayor altitud con 3800 msnm la temperatura baja a 18.39°C.

Realizando un análisis de regresión lineal con los datos presentados, como se mencionó anteriormente se observa una tendencia de disminución de la temperatura con respecto al aumento de la altitud, al obtener el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tenemos un valor de 0.8616 de acuerdo

con (Laguna, 2014) cuando el  $R^2$  es cercano a 1 el ajuste de los datos es bueno indicando una fuerte relación entre las variables de estudio; el valor del coeficiente de determinación es menor al presentado en la zona quemada, sin embargo, considerando que el valor es mayor a 0.7 y por ende tiene buena aceptación, la altitud nuevamente influye en la temperatura de la zona de estudio, disminuyendo conforme aumenta la altura.

**Figura 14**

*Gráfico de dispersión en la zona no quemada*



En esta investigación con los datos presentados en las tablas 6 y 7 se pueden mencionar que no existen variaciones significativas entre los valores reportados por altitud de la temperatura superficial de la zona quemada y la no quemada, indicando que la altitud no influye en calentar más a una zona que a otra, si no que la radiación calienta de forma homogénea el suelo, sin embargo, es importante mencionar que en un periodo corto (mensual o trimestral) después de ocurrido un incendio las variaciones pueden ser mayores, por tal motivo es importante mantener estudios en líneas de tiempo cortas.

Al ser una zona de páramo otro de los factores que pueden afectar la temperatura del suelo es la niebla. Las denominadas nieblas de radiación, provocan que el aire se enfríe por acción de la pérdida de calor proveniente del suelo por las noches, sin embargo, la capa que se ve afectada por este fenómeno es de apenas unos pocos metros de espesor debido a que el aire no es considerado un buen conductor de calor (Sarochar, 2018).

La vegetación también influye en la temperatura del suelo, proporcionando sombra y disminuyendo la pérdida de humedad y en consecuencia evitando los cambios bruscos de temperatura (FAO, 1996). Esto se puede evidenciar en la figura 12 en la cual existen zonas marcadas de un color rojo intenso que representan carreteras y vías de acceso a la zona, en las cuales la temperatura es de entre 27 y 28 °C estas vías se encuentran descubiertas de vegetación lo cual provoca una mayor absorción de la radiación por parte del suelo. Para términos del estudio y evitar la influencia de estos valores en la comparación de ambas zonas de estudio, se excluyó los valores de temperatura de las carreteras, ya que no eran representativos en el análisis comparativo y podían ocasionar alteraciones en la temperatura global de cada zona.

De la misma manera las condiciones climáticas, la hora del día y la época del año pueden ser factores que influyan al momento de evaluar la temperatura superficial; de acuerdo con investigaciones de (Panigatti et al. 1988) la temperatura del suelo sufre un descenso en épocas de invierno debido a la consecuente disminución de la temperatura ambiente y lo contrario ocurre en épocas de verano, registrando aumentos en la temperatura del suelo; igualmente indican que, dependiendo del tipo de suelo, la hora y el clima de un día los valores de temperatura pueden variar.

Aparte de los factores ambientales se puede encontrar diferencias debido a los equipos utilizados para la medición, la cámara thermomap cuenta con una altitud operativa de 75 a 150 m

(senseFly Parrot Group, 2018). Al ser la zona de estudio un área montañosa cuenta con variaciones de cotas y se podrían presentar diferencias en los valores de uno u otro lado alrededor de todo el espacio de recolección de datos.

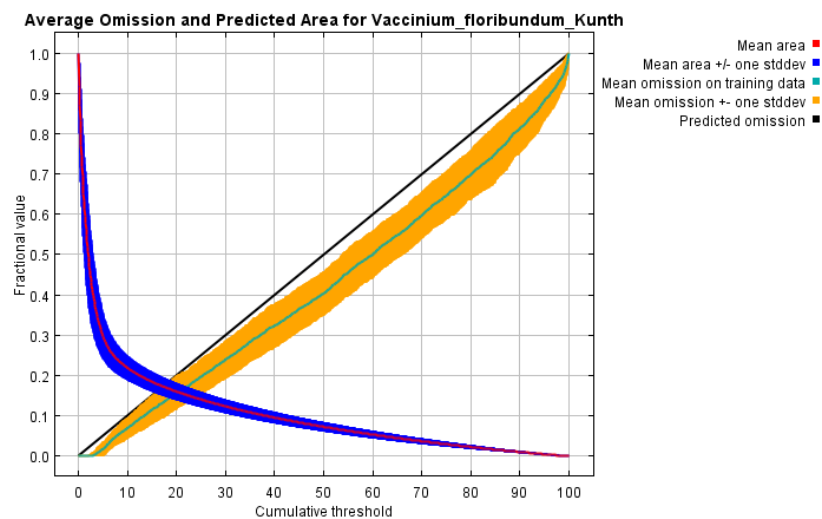
## **5.2. Modelado de distribución potencial de *Vaccinium floribundum* Kunth**

Alrededor de todo el Ecuador se estableció un total 137 registros de *Vaccinium floribundum* Kunth, se obtuvo en primer lugar mediante la utilización de las 19 variables bioclimáticas mencionadas anteriormente el modelo con el cual, posteriormente se trabajó con 4 variables que fueron las más representativas (Temperatura media del estado más seco (°C); Temperatura media del estado más cálido (°C); Temperatura media del estado más frío (°C); Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)).

En figura 15 se detalla la tasa de omisión y el área predicha con respecto al umbral acumulativo, esto refleja el promedio sobre las 100 ejecuciones realizadas para el estudio. En este caso el modelo es válido debido a que la omisión media (color verde) se encuentra cerca de la omisión predicha.

**Figura 15**

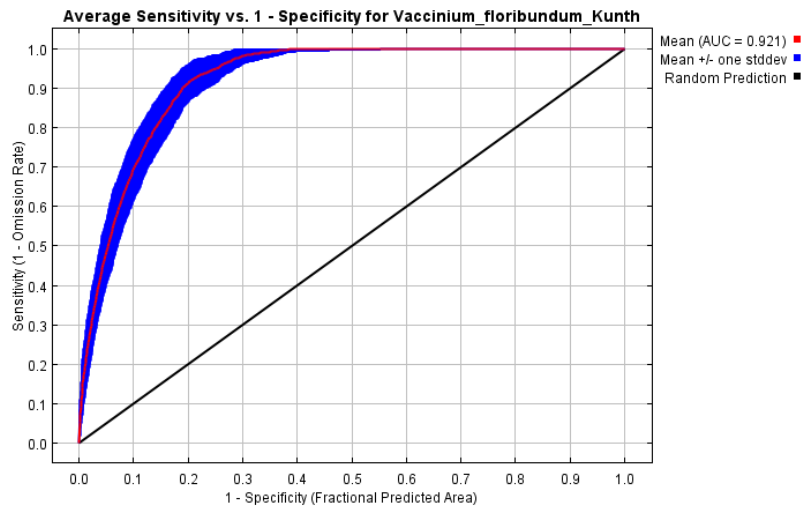
*Tasa de omisión respecto al umbral acumulativo.*



La figura 16 es la curva de característica operativa del receptor (ROC) para los 137 registros, que es el promedio de las 100 réplicas. La línea roja se refiere al “entrenamiento” mostrando el ajuste del modelo con los datos proporcionados siendo la legítima prueba de estimación para este caso; mientras que por otro lado la línea azul hace referencia a los datos de “prueba”. El área bajo la curva (AUC) tiene el valor de 0.921 y una desviación estándar de 0.013, es decir que el presente modelo es considerado altamente exacto ya que tiene un valor mayor a 0.9, como lo menciona (Coreira, 2018) por el contrario los valores menores a 0.5 indican la carencia de predicción afectando a los resultados.

**Figura 16**

Característica operativa del receptor



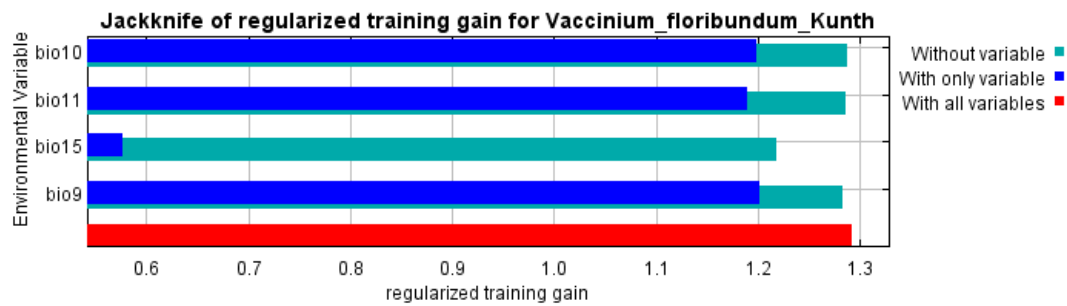
*Nota.* La figura representa la prueba de navaja utilizando los 137 registros de mortiño junto con 4 variables ambientales.

La figura 17 muestra los resultados de la prueba de navaja junto con la importancia de cada una; para este caso la variable ambiental con mayor ganancia cuando es usada de manera aislada es bio9 (Temperatura media del estado más seco (°C)), es decir, posee la información más útil para el estudio; por otro lado, la variable que disminuye la ganancia si esta es eliminada para los resultados es bio15 (Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)), por lo tanto es la que posee mayor cantidad de información que no se encuentra en el resto de las variables.



**Figura 17**

*Prueba de navaja para las variables bioclimáticas.*

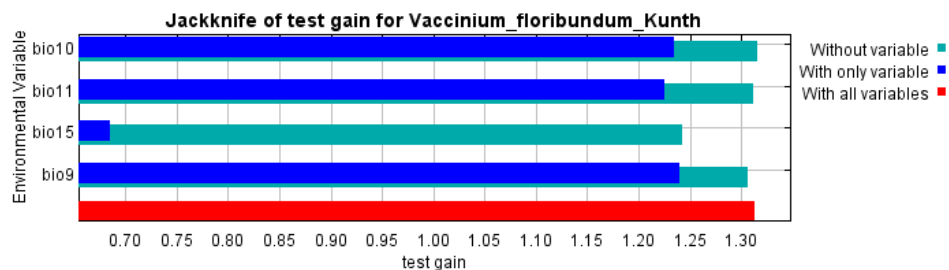


*Nota.* Prueba de navaja (ganancia) utilizando las 4 variables bioclimáticas representativas y 137 registros.

La figura 18 de la prueba de navaja, utilizando la ganancia de prueba en lugar de usar la de entrenamiento, se observa que la variable bioclimática con mayor ganancia corresponde a la Temperatura media del estado más seco (°C).

**Figura 18**

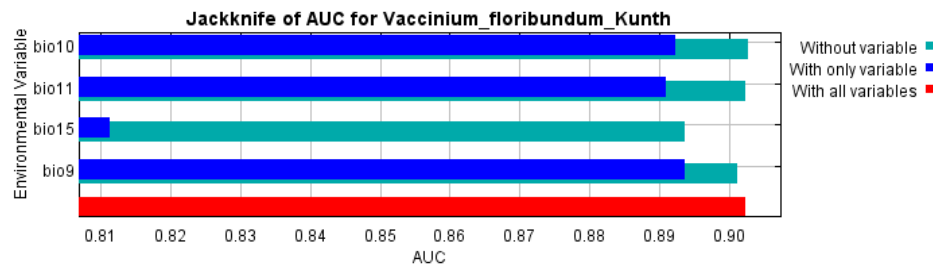
*Prueba de navaja usando la "ganancia"*



En la figura 19 aplicando la misma prueba de navaja, usando el área bajo la curva en los datos puestos a prueba se tiene como resultado que bio9 (Temperatura media del estado más seco (°C)) posee la mayor ganancia con respecto a las otras variables.

**Figura 19**

*Prueba de la navaja usando el área bajo la curva*

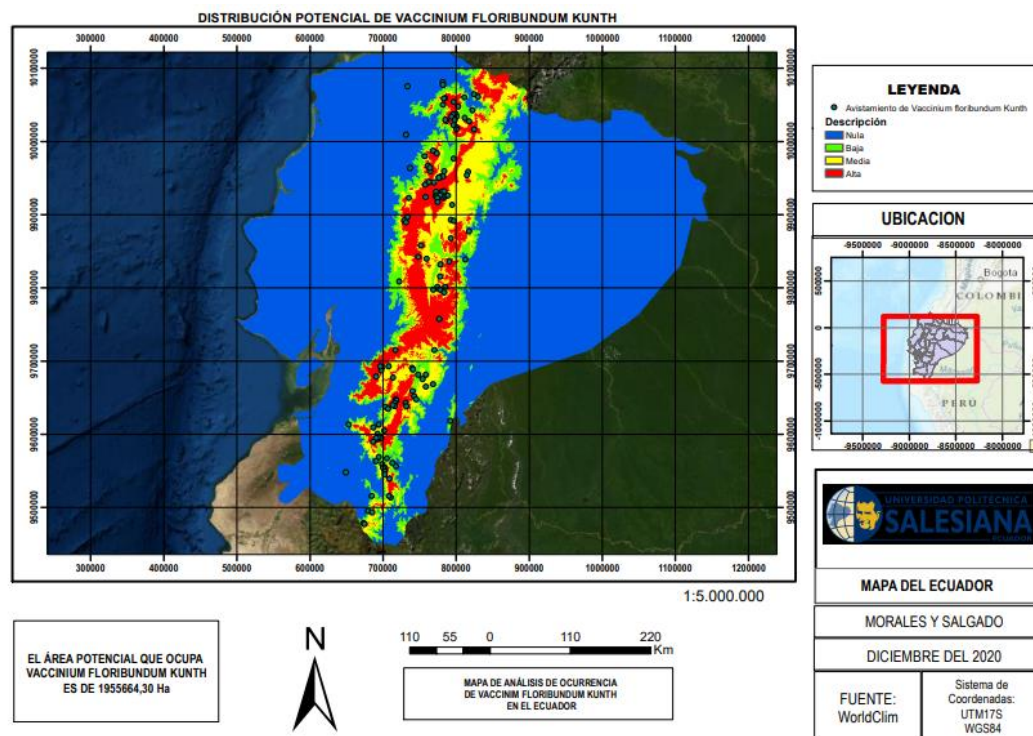


Al comparar las 3 figuras de la prueba de navajas, especialmente la que corresponde al área bajo la curva denota que la temperatura media del estado más seco se considera la variable bioclimática que por sí sola anuncia de manera precisa el repartimiento de los datos que se usaron como “prueba”, esto beneficia a que Maxent realice un correcto ajuste a los datos de “entrenamiento”.

Al procesar el archivo en ArcGIS se obtiene el área potencial teniendo en cuenta las 4 variables mencionadas desde un principio, esta misma área corresponde en su mayoría a la sierra ecuatoriana; se ha dividido al Ecuador en valores (0-nulo; 0.25-bajo; 0.5-medio; 0.75 a 1-alto), por lo que el área de distribución potencial para *Vaccinium floribundum Kunth* correspondiente a los valores altos (0.70 a 1) es de 1955664,30 Ha (Figura 20).

**Figura 20**

*Mapa de distribución potencial de *Vaccinium floribundum* Kunth.*



*Nota.* El área potencial de distribución de la especie de estudio comprende el territorio de la Sierra ecuatoriana.

En la figura 20 se puede evidenciar que el área potencial de *Vaccinium floribundum* Kunth corresponde a la Sierra del Ecuador, como lo menciona (Santamaría et al. 2012) esta especie vegetal se encuentra distribuida desde 1600 msnm hasta aproximadamente 4500 msnm estando relacionada fuertemente con los ecosistemas de páramo debido a los factores climáticos que inciden en los mismos.

Al ser el mortiño una especie endémica del Ecuador como lo menciona (Santamaría et al. 2012), es muy importante por su contenido alto de vitamina C funcionando como un antioxidante, además de poseer un sabor atractivo, conserva propiedades medicinales a nivel sanguíneo y para lidiar con problemas gastrointestinales. Por otro lado, esta especie también es usada en el ámbito de la

industria de la agricultura, en la producción de tintes y pinturas, con varios usos en la repostería, elaboración de vinos, y para la colada morada que se la realiza cada año.

Con respecto al ámbito ambiental es importante su cuidado y preservación ya que es utilizada en lugares que han sido afectados por incendios forestales, empleada en sitios como páramos debidos a su actividad renovadora y para la protección de suelos y cuerpos de agua como lo menciona (Santamaría et al. 2012).

### **5.3. Áreas protegidas intervenidas dentro de la distribución potencial de *Vaccinium floribundum Kunth***

Se tiene como resultado que 23 de las 59 áreas protegidas del Ecuador se encuentran en el área potencial de la especie vegetal de estudio, es decir el 38.98% cuentan con condiciones favorables para el desarrollo de la especie (figura 21); el área ocupada dentro de la distribución potencial es de 541559.83 Ha, a continuación, se muestra el área ocupada en cada territorio en la tabla 8.

Además, es importante mencionar que las 36 áreas protegidas restantes, por sus condiciones climáticas no ofrecen las características necesarias para el desarrollo de poblaciones de mortiño.

**Tabla 8:**

*Áreas protegidas que intersecan con el área potencial de *Vaccinium floribundum Kunth**

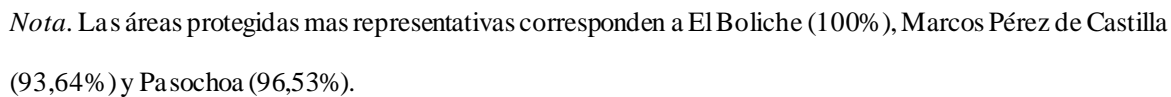
<b>Nombre</b>	<b>Área Ha</b>	<b>Área intersecada Ha</b>	<b>% de Área intersecada</b>
Antisana	120581,26	4115,96	3,41%
Cajas	29389,37	18370,86	62,51%
Cayambe	29389,37	3631,16	12,35%
Chimborazo	52683,27	30339,70	57,59%
Colonso Chalupas	93163,30	2123,24	2,28%

<b>Nombre</b>	<b>Área Ha</b>	<b>Área intersecada Ha</b>	<b>% de Área intersecada</b>
Cordillera oriental del Carchi	20439,78	3525,94	17,25%
Cotacachi Cayapas	260961,46	34610,57	13,26%
Cotopaxi	32271,70	23325,31	72,27%
El Ángel	15974,51	5237,81	32,79%
El Boliche	395,28	395,28	100%
La Bonita	53093,81	5119,97	9,64%
Llanganates	219918,58	68162,16	30,99%
Los Ilinizas	134233,25	31394,38	23,39%
Marcos Pérez de Castilla	8604,72	8083,65	93,94%
Paschoa	619,36	597,89	96,53%
Podocarpus	138492,57	30873,98	22,29%
Pululahua	3441,79	71,93	2,08%
Quimsacocha	3217,15	946	29,40%
Río Negro Sopladora	30616,27	4359,07	14,24%
Sangay	486612,53	254903,47	52,38%
Sumaco Napo - Galeras	206161,73	6091,73	2,95%
Tambillo	1954,65	1337,88	68,44%
Yacuri	43090,55	7467,83	17,33%

*Nota.* Elaborado por: Salgado, B & Morales, E. (2020).

En la tabla 8 tenemos los porcentajes de intersección de cada área protegida, en los que destacan: El Boliche (100%), Marcos Pérez de Castilla (93,64%) y Paschoa (96,53%); las mismas que se encuentran dentro de la Sierra Ecuatoriana cumpliendo con características de ecosistemas de páramos y humedales para que esta especie pueda desarrollarse con plenitud.

*Mapa de áreas protegidas intersecadas por el área potencial de desarrollo.*



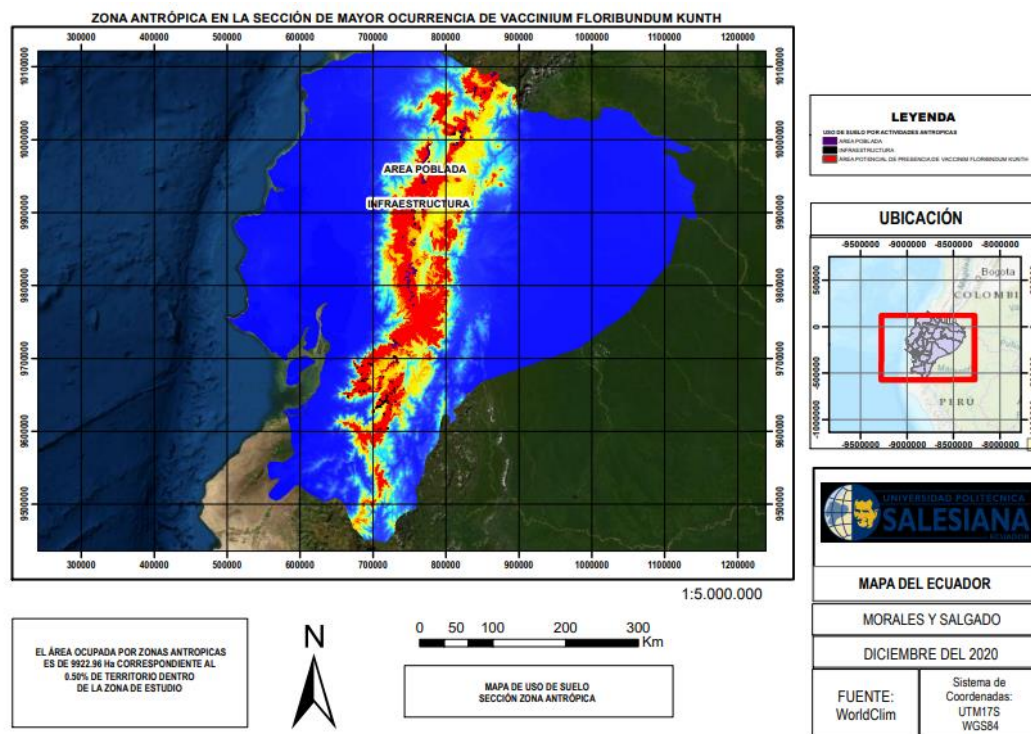
55

#### 5.4. Análisis de uso de suelo en la distribución potencial de *Vaccinium floribundum* Kunth

En la figura 22 se puede observar el área ocupada por zonas antrópicas dentro del área potencial de desarrollo de la especie, cantidad muy pequeña en relación a la extensión de terreno, correspondiendo a 9922,96 Ha ocupado el 0,50% del territorio, esta misma se ha dividido en áreas pobladas e infraestructura con 5375,24 Ha y 4547,72 Ha respectivamente por lo que se evidencia que asentamientos humanos no están cerca esta especie, ya que en algunos casos está fuertemente ligada a la altura en la que se encuentra y su ubicación geográfica.

**Figura 22**

*Mapa de zona antrópica en la sección de mayor ocurrencia de *Vaccinium floribundum* Kunth.*



*Nota.* Para el estudio de las zonas antrópicas se tomó en consideración el área poblada y zonas de infraestructura.

Dentro de la figura 23 se puede observar el área ocupada por zonas agrícolas en el territorio de estudio correspondiente a 607936,52 Ha, por lo que ocupa el 31,08% del área potencial de

distribución, este es el resultado de que las mismas actividades destinadas al ámbito agropecuario vayan ocupando territorios donde esta especie se encuentra debido a la introducción de especies no nativas o extensiones destinadas al monocultivo, la quema de páramos y como lo menciona (Idrovo, 2013) los malos conocimientos de cosecha podrían afectar en un futuro a la presencia de esta especie por actividades antropogénicas.

Según indica (Crissman, 2003) las zonas de páramo cada vez se ven más amenazadas, producto de la expansión de actividades como la agricultura, forestación y ganadería hacia los pisos más altos y frágiles, debido a las necesidades alimenticias y económicas de las poblaciones de la zona, de acuerdo con esto podemos ver en esta investigación como más del 30% del área de distribución de mortiño intersecaría con zonas de cultivos amenazando la distribución natural de la especie vegetal.

Estas zonas de cultivo amenazan la flora y fauna natural de los páramos debido a la expansión que están teniendo en la actualidad; la línea que divide al páramo y los pisos de agricultura de altura no se encuentra definida y actualmente es una frontera móvil en crecimiento (Camacho , 2013). Considerando esto, una alternativa para preservar especies nativas debería ser fijar un límite para la agricultura de altura, limitando así el avance descontrolado y la invasión de actividades antrópicas en áreas protegidas.

Es importante resaltar que la agricultura campesina se ha visto minimizada por las grandes empresas dedicadas a esta actividad, provocando un quiebre en el campo y ocultando los aportes de los agricultores para la comunidad como lo menciona (Martínez, 2015).

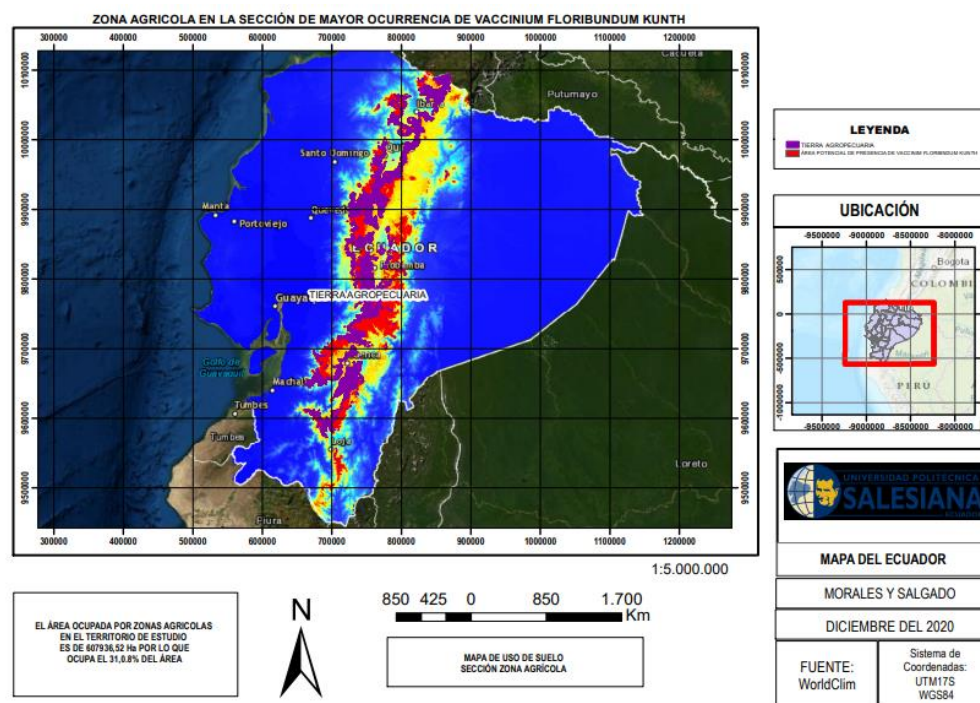
Las comunidades que se encuentran en el campo, cada vez son más vulnerables por el pensamiento capitalista, según (Korovkin, 2016) los valores en temas de cultura tienen la



posibilidad de desaparecer, provocando que cultivos tradicionales de la sierra ecuatoriana sean remplazados por empresas dedicadas a la exportación de soja, hortalizas, entre otros, afectando a la estabilidad económica de los agricultores sometiéndoles a diferentes formas de explotación; lo que ocasiona que estas industrias se introduzcan en territorios que mantienen condiciones favorables para el desarrollo de especies que pueden verse afectadas por actividades humanas.

**Figura 23**

*Mapa de zona agrícola*



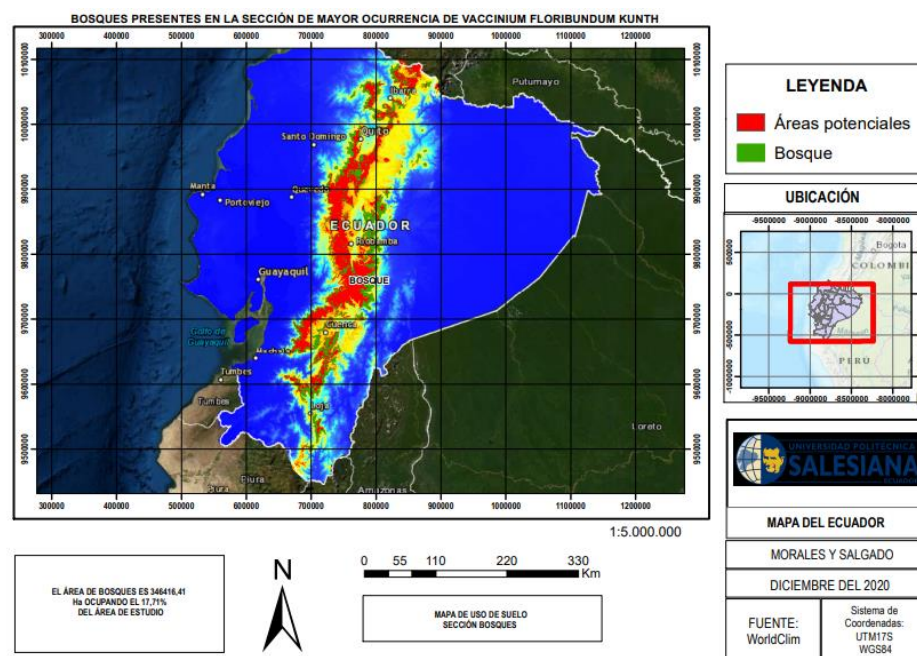
*Nota.* La figura representa la zona agrícola, ocupando un 31,08 % de la distribución potencial de mortiño.

La figura 24 nos muestra los resultados del área de bosques con 346416,41 Ha correspondiente al 17,71% que ocupa dentro del área de estudio como menciona (Santamaría et al. 2012) estos hábitats como los bosques montañosos húmedos son propicios para el desarrollo de esta especie debido a las condiciones ambientales y climáticas. Comparando este resultado con el área dedicada a las actividades agropecuarias y los asentamientos humanos, refleja que hay un mayor uso de

suelo para las actividades agrícolas, por ende la especie de estudio se vería afectada a diferencia de las zonas boscosas donde se puede desarrollar sin complicaciones con la diferencia que cuenta con un área muy pequeña y no se encuentra a disposición de los asentamientos humanos, proliferando su crecimiento y así evitando que esta especie se encuentre amenazada por su recolección desmedida.

**Figura 24**

*Mapa de zona de Bosques en el área potencial.*



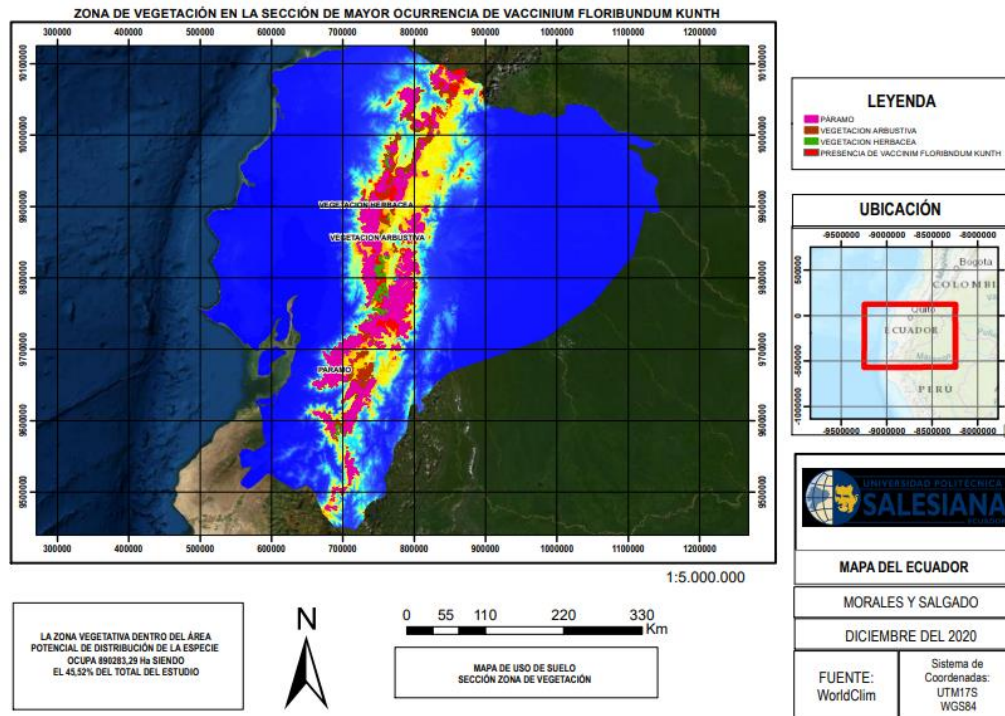
*Nota.* La figura representa la zona de bosques ocupando un 17,71 % de la distribución potencial de mortiño.

La figura 25 muestra el resultado de la zona vegetativa dentro del área potencial de distribución de la especie con 890283,29 Ha, representado el 45,52% del área ocupada para el estudio, además esta zona se divide en 3 secciones: páramo (790103,27 Ha), vegetación arbustiva (86946,05 Ha) y vegetación herbácea (13233,97 Ha) correspondiendo para cada caso el 40,40% ; 4,44% y 0,68%, tiene resultados acertados como lo menciona (Roldán, 2013) que a esta especie se la encuentra especialmente en páramos altos de la Cordillera del Ecuador, desde la reserva ecológica El Ángel

hasta el Tambo en el austro ecuatoriano. Por lo tanto, en comparación entre las 4 zonas con respecto al análisis de suelo; las zonas de vegetación ocupan mayor parte del área potencial de *Vaccinium floribundum* Kunth.

**Figura 25**

*Mapa de zona de vegetación*



*Nota.* La figura representa la zona de vegetación con un 45.52 % siendo el de mayor territorio dentro de la distribución potencial de mortiño.

### 5.5. Escenarios de cambio climático en la distribución potencial de *Vaccinium floribundum* Kunth

Los resultados están basados en el modelo CanESM5, como lo menciona (Hausfather, 2019) se encuentra con un rango de sensibilidad climática de equilibrio (ECS) con valores de 1,5 a 4,5 °C y por encima de estos, 5,6 °C para el respectivo modelo se tiene un 66% de probabilidad de que el valor se encuentre en ese rango.

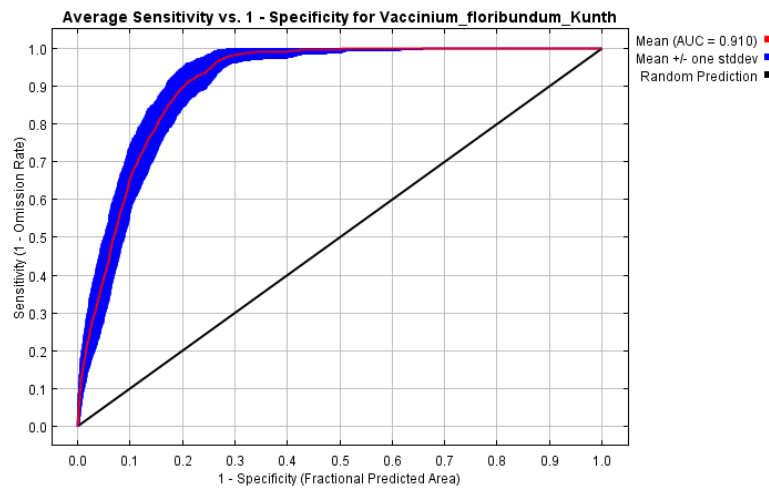
### **5.5.1. Escenario RCP 2.6**

La figura 26 muestra la curva de característica operativa del receptor para los 137 registros, usando las 4 variables bioclimáticas más representativas (Temperatura mínima del mes más frío (°C); Temperatura media del estado más lluvioso (°C); Temperatura media del estado más cálido (°C); Precipitación del trimestre más frío). La línea roja es el “entrenamiento” manifestando el ajuste del modelo con los registros proporcionados; mientras la línea azul hace referencia a los datos de “prueba”. El AUC tiene el valor de 0.910 y una desviación estándar de 0.015, como afirma (Coreira, 2018) los valores de área bajo la curva mayores a 0.90 son aceptables, mayores a 0.80 se consideran buenos y entre 0.6 o menores son obsoletos, por lo que el modelo es considerado altamente exacto.

Se obtuvieron como resultados que, para dos variables de manera aislada, bio6 (Temperatura mínima del mes más frío (°C)), posee la información más útil para el estudio; mientras que la variable que disminuye la ganancia si esta es eliminada para los resultados es bio19 (Precipitación del trimestre más frío), posee mayor cantidad de información que no se encuentra en el resto de las variables.

**Figura 26**

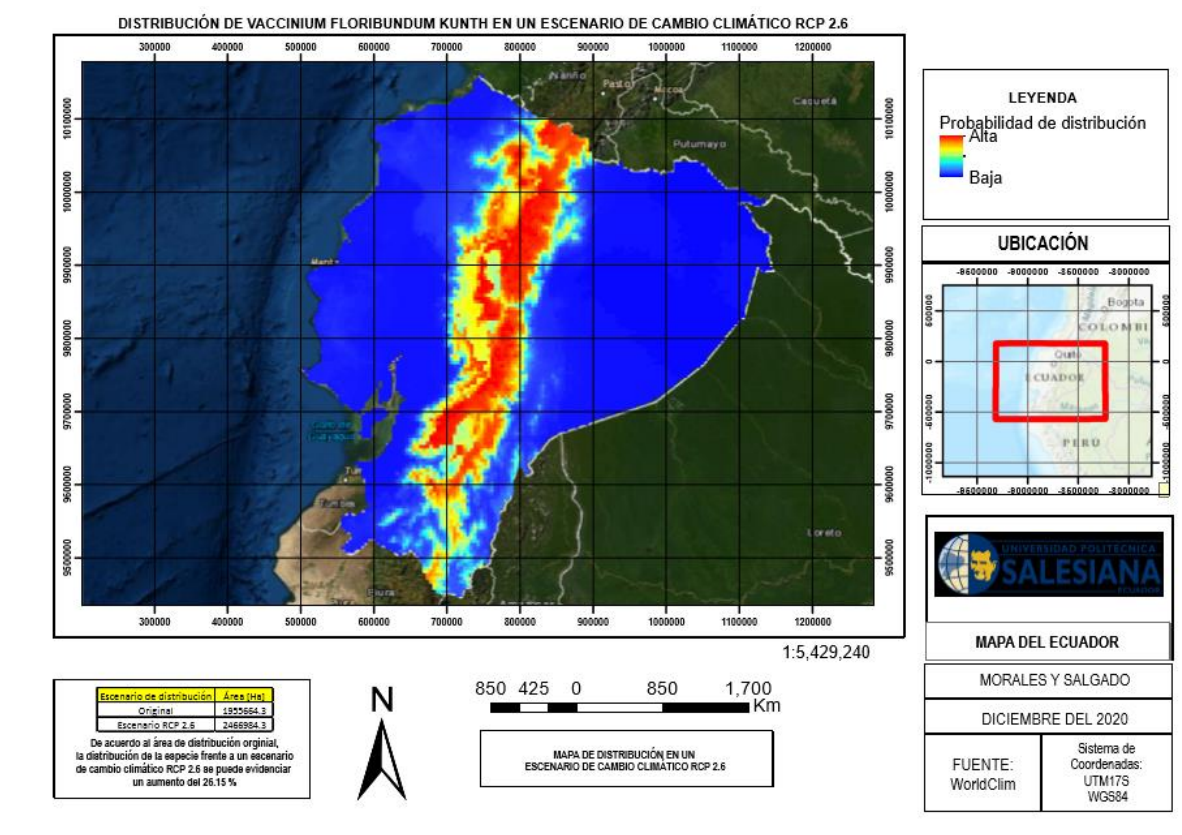
Área bajo la curva para el escenario RCP 2.6



De acuerdo con los resultados obtenidos las variables bioclimáticas que tienen mayor peso en determinar la distribución de mortiño están relacionadas con la temperatura y la precipitación; estos registros están en concordancia con lo reportado por (Santamaría et al. 2012) quienes indican que la especie se desarrolla en climas templados y fríos, especialmente en páramos, zonas en las que frecuentemente se reportan lluvias y de temperatura variable.

**Figura 27**

*Mapa de escenario de cambio climático 2.6.*



*Nota.* El escenario de cambio climático RCP 2.6 indica un aumento en las poblaciones de mortiño para el año 2100.

La figura 27 muestra la distribución potencial de mortiño frente a un escenario de cambio climático RCP 2.6 en el cual el área de distribución es de 2466984.3 Ha en relación al escenario original de 1955664.3 Ha podemos evidenciar un aumento del área de 511320 hectáreas, es decir, frente a este escenario se registra un crecimiento del 26.15% en las poblaciones de mortiño.

De acuerdo con (IPCC, 2014) el RCP 2.6 representa un escenario en el cual el objetivo es que sea probable mantener los niveles de calentamiento por debajo de al menos 2 °C, considerando lo mencionado el crecimiento de las poblaciones de *Vaccinium floribundum Kunth* se extiende hacia zonas en las cuales la temperatura entra en el rango aceptable para la proliferación natural de la



especie, los cambios a nivel temperatura no serán extremos y se mantendrán parecidos a los actuales por lo cual no se vería afectada la distribución de mortiño, manteniendo así las hectáreas de la distribución original y aumentando un porcentaje considerable de la especie.

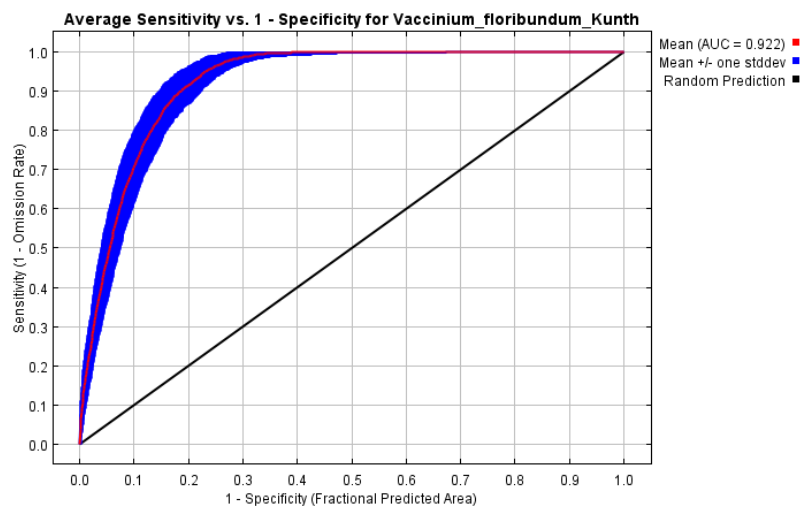
#### **5.5.2. Escenario RCP 8.5**

La figura 28 representa a la curva de característica operativa del receptor para los 137 registros, con 4 variables bioclimáticas más representativas (Temperatura mínima del mes más frío (°C); Temperatura media del estado más lluvioso (°C); Temperatura media del estado más frío (°C); Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)). La línea roja es el “entrenamiento” manifestando el ajuste del modelo con los datos proporcionados; y la línea azul representa los datos de “prueba”. El AUC tiene el valor de 0.922 y una desviación estándar de 0.014, como alega (Coreira, 2018) los valores de área bajo la curva mayores a 0.90 son aceptables, mayores a 0.80 se consideran buenos y entre 0.6 – 0.5 o menores son obsoletos, por lo que este modelo es considerado altamente exacto.

Se obtuvieron como resultados que, para dos variables de manera aislada, bio6 (Temperatura mínima del mes más frío (°C)), posee la información más útil para el estudio; mientras que la variable que disminuye la ganancia si esta es eliminada para los resultados es bio19 (Precipitación del trimestre más frío), posee mayor cantidad de información que no se encuentra en el resto de las variables.

**Figura 28**

Área bajo la curva para el escenario RCP 8.5

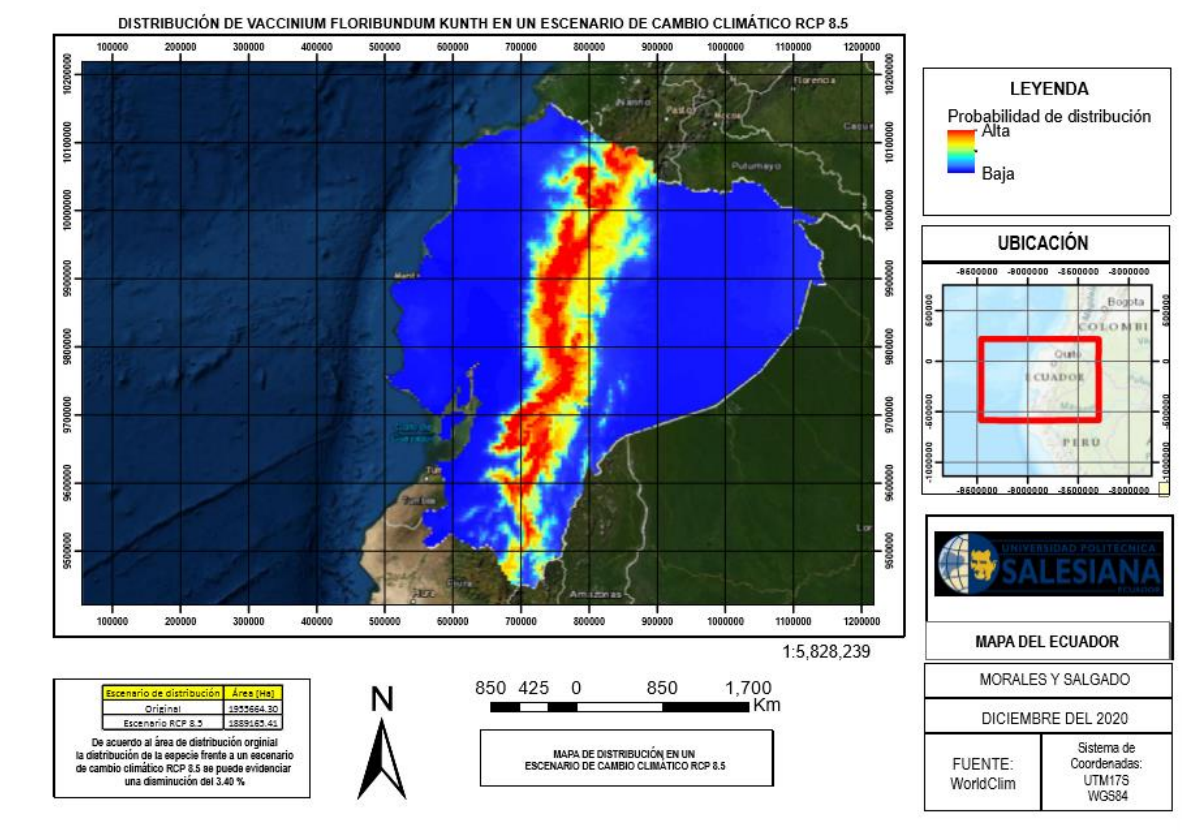


De acuerdo con los datos presentados para el escenario de cambio climático RCP 8.5 las variables bioclimáticas que nos ayudan a determinar el área potencial de distribución de *Vaccinium floribundum Kunth* se relación con la temperatura y precipitación, estas variables tienen relación a lo reportado por (Santamaría et al. 2012) quienes mencionan que la especie se desarrolla en climas templados y fríos, especialmente en páramos, zonas en las que frecuentemente se reportan lluvias y de temperatura variable.



**Figura 29**

*Mapa de escenario de cambio climático 8.5*



*Nota.* El escenario 8.5 representa una disminución de las poblaciones de mortiño para el año 2100

La figura 29 nos muestra la distribución potencial de *Vaccinium floribundum Kunth* frente a un escenario de cambio climático RCP 8.5 con un total de 1889165.41 hectáreas, con relación al escenario original que cuenta con 1955664.30 Ha se registra una disminución de 66498.89 hectáreas representando un total de 3.40% menos del espacio de distribución.

De acuerdo con el informe presentado por (IPCC, 2014) el escenario RCP 8.5 no refleja esfuerzos para limitar las emisiones atmosféricas, la tendencia dentro de este escenario es un aumento de los gases de efecto invernadero y como consecuencia de los mismos un incremento de la temperatura global de 4 °C, según estos datos y al observar la distribución del mapa en la figura

29 esta tendencia afectaría el desarrollo natural de las poblaciones de mortiño, ya que ciertas zonas en las cuales se podían encontrar las condiciones climáticas necesarias para su proliferación han sufrido un incremento en la temperatura, sobrepasando de tal manera el rango adecuado para que esta especie vegetal pueda surgir con normalidad.

Según lo que menciona (FAO, 2001) las variaciones relacionadas con el cambio climático serán responsables en la creciente frecuencia y severidad de incendios, estos no solo crecerán en intensidad y frecuencia sino que se extenderán hacia zonas en las cuales frecuentemente no ocurren estos eventos, tomando en cuenta estas consideraciones y que el hábitat natural de *Vaccinium floribundum Kunth* son los páramos, estos se verían amenazados y serían vulnerables a escenarios climáticos extremos y por ende se perderían especies que habitan en estas zonas.

Un estudio realizado en Colombia por (Torres y Galvis, 2018) indica que debido a la influencia del cambio climático se reportan cambios en la fenología de las especies, mismos que son generados por la modificación de la temperatura y precipitación, y por ende se denota una disminución de plantas de una especie de mortiño (*Hesperomeles goudotiana*); considerando este antecedente y la cercanía del país es importante tomar en cuenta que las modificaciones del clima afectan a las poblaciones de mortiño, sin embargo, al ser una especie vegetal distinta a la del estudio del presente trabajo se deben considerar las condiciones óptimas para cada tipo de especie, y de acuerdo al escenario 8.5 presentado se puede determinar una concordancia entre el cambio climático y la disminución del área de distribución probable de *Vaccinium floribundum Kunth*

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- Después de un año la variación de temperatura del suelo provocada por los incendios forestales no representa una gran diferencia entre la zona quemada y el área que no fue afectada por el incendio, la recuperación del suelo a niveles de temperatura se equilibra un año después ocurrido el evento.
- De acuerdo al mapa de distribución realizado, se determina que *Vaccinium floribundum Kunth* tiene una distribución potencial en ecosistemas de páramos, ocupando un total de 1955664,30 Ha.
- Las poblaciones de mortiño se encuentran en un 27.87% dentro del espacio correspondiente a áreas protegidas ocupando 545085,77 Ha, siendo El Boliche, Marcos Pérez de Castilla y Pasochoa las de mayor presencia de la especie.
- En relación al uso de suelo con respecto al área potencial de mortiño, el área intersecada por asentamientos humanos representa un 0,50% del área total y las actividades agrícolas corresponden al 31,08% del espacio total de distribución.
- El escenario RCP 2.6 representa un incremento del 26,15% en el área de distribución de las poblaciones de mortiño siendo el escenario más favorable, en contraparte el escenario RCP 8,5 presenta una pérdida del 3,40% de área potencial de distribución.

### 6.2. Recomendaciones

- En relación al uso del drone Ebee Sensefly y la cámara ThermoMap, se deben tener los cuidados respectivos para evitar un daño en los equipos.

- Se recomienda realizar análisis en la temperatura del suelo con una frecuencia trimestral para analizar de una mejor manera la evolución de un suelo posterior a un incendio.
- Generar modelos en cuanto a otros factores bióticos que influyan en el desarrollo del mortño y complementar el estudio con investigaciones socioeconómicas de la importancia de la conservación ya que el mortño es una especie comestible utilizada para la generación de productos como vinos, en el área de repostería entre otros.
- Con respecto a las variables bioclimáticas, es necesario seleccionar las que posean un mayor peso y así obtener resultados cercanos a una predicción real, además es fundamental contar con una base de datos bien depurada para evitar alteraciones en los resultados del estudio.
- Se debe realizar más investigaciones del mortño con respecto al ámbito ambiental ya que hay escasa información de la misma y es una especie endémica que puede perderse debido a las actividades antrópicas o incendios forestales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AERIAL. (2017). *AERIAL INSIGHTS*. <https://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>
- Aguilera, G. (2016). *Estudio de la evolución temporal a corto plazo del manejo post-incendio sobre las propiedades biológicas del suelo*.  
<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/4293/1/TFG%20Aguilera%20Garc%C3%ADa%20C%20Gabriel%20F%C3%A9lix%20.pdf>
- Aguirre, N. (2013). *Implementación de un sistema de detección de señales de tráfico mediante visión artificial basado en FPGA*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- American Public Health Association. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington.
- Armenta, G., Villa, J., y Jácome, P. (2016). *Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático*. Ecuador.
- Benítez, H. (2017). *Procesamiento de imágenes infrarrojas para la detección de defectos en materiales*.
- Betancourth, J. A. (2017, Julio 19). *Publicación, vuelos de drones*.  
<https://es.slideshare.net/JorgeAlonsoBetancour/planificacion-vuelos-drones>
- Beyers, J. (2008). *Wildland fire in ecosystems: Effects of fire on soils and water*. Lincoln: University of Nebraska, United States Department of Agriculture, Rocky Mountain Research Station.

- Bodí, M., Cerdá, A., y Mataix, J. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *ReserchGate*, 47-48.
- Camacho , M. (2013). *Los páramos Ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Chantre, M. (2017). *Análisis comparativo de cambios de área en coberturas en la parte alta de la subcuenta rio Palacé, a través de imágenes Landsat entre 1989 y 2016*. Colombia: Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Manizales.
- Coreira, M. (2018). Criterios confiables para la construcción del modelo de máxima entropía - MAXENT - Parte 1. *Boletín COFA Convivencia Pesquera*.
- Crissman, C. (2003). *La agricultura en los Páramos: Estrategias para el uso del espacio*. Lima: Consorcio para el desarrollo sostenible de la ecoregión Andina.
- De Celis, R., Jordán , A., y Zavala, L. (2009, Diciembre 11). *Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo*.  
[https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros\\_livros/viiegfa/Artigo\\_12\\_Reyes\\_de\\_Celis.pdf](https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/outros_livros/viiegfa/Artigo_12_Reyes_de_Celis.pdf)
- DEA. (2014, Octubre 10). *Procesamiento Digital de Imágenes* .  
<http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/Capitulo1.pdf>
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Suiza: UICN.
- FAO. (1996). *Ecología y Enseñanza Rural* . Roma: FAO.

FAO. (2001). *Agricultura y cambio climático*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Flannigan, M., Logan, K., Amiro, B., Skinner, W., y Stocks, B. (2005). Future area burned in Canada. *Climatic Change* , 1-16.

GBIF. (2020). *GBIF*. ¿Qué es GBIF?: <https://www.gbif.org/es/what-is-gbif>

Geoinnova Formación. (2017). *Geoinnova Formación SIG Y MEDIO AMBIENTE*. Cómo crear modelos predictivos con Maxent: <https://geoinnova.org/cursos/como-crear-modelos-predictivos-con-maxent/>

Giglio, L., Randerson, J., Van der Werf, G., Kasibhatla, P., Collatz, G., Morton, D., y DeFries, R. (2010). Assessing variability and long-term trends in burned area bymerging multiple satellite fire products. *Biogeosciences*, 1171-1186.

Gonzáles , F. (2009). *Transformaciones de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio*. Valencia: Cátedra de divulgación de la ciencia.

Hausfather, Z. (2019, Diciembre 2). *CarbonBrief*. CMIP6: the next generation of climate models explained: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>

Hijmans, R., y Fick, S. (2017). WorldClim 2: nuevas superficies climáticas de resolución espacial de 1 km para áreas terrestres globales. *Revista Internacional de Climatología* 37, 12.

HobbyTuxtla. (2019). *PIX4D Mapper*. <https://www.hobbytuxtla.com/pix4d/mapper/>

- Idrovo, V. (2013). *Investigación del mortiño, beneficios nutricionales y su aplicación a la repostería*.
- INEC. (2012). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria* . Ecuador: Unidad de Estadísticas Agropecuarias.
- IPCC. (2013). *Cambio climático 2013, bases físicas*. Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis* . Ginebra: IPCC.
- Korovkin, T. (2016, noviembre). *The University of New Mexico*. Efectos sociales de la globalización: petróleo, banano y flores en el Ecuador:  
[https://digitalrepository.unm.edu/abya\\_yala/416/](https://digitalrepository.unm.edu/abya_yala/416/)
- Laguna, C. (2014). *Introducción a la estadística*. Zaragoza: Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud.
- Llambi, L., y Soto, A. (2012). *Ecología, Hidrología y Suelos de Páramos*. Quito: El Antebrazo.
- Martínez, J., De las Heras , J., y Herranz, J. (1991). *Impacto ecológico de los incendios forestales*. La Mancha.
- Martinez, L. (2015). *FLACSO ANDES*. Asalariados rurales en territorios del agronegocio: flores y brócoli en Cotopaxi: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/141501-opac>
- Martínez, S. (2015). *Cursos Teledetección*. Procesado de imágenes RGB con Pix4D:  
<https://www.cursosteledeteccion.com/procesado-de-imagenes-rgb-con-pix4d/>
- Miller, G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*. México: Editores Internacional Thomson.



- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Nueva York: UNFCCC.
- O'Brien, J., Loudermilk, L., y Hornsby, B. (2015). High-resolution infrared thermography for capturing wildland fire behaviour: RxCADRE 2012. *International Journal of Wildland Fire*.
- Panigatti, L., Pérez, M., y Musseti, M. (1988). *Evolución de la temperatura del suelo*. Argentina: INTA.
- Parrot Group. (2018). *Sensify*. eMotion: <https://www.sensefly.com/es/software/emotion/>
- Pazmiño, D. (2019, Abril 20). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en el Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1, 1-9.  
doi:<https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1800>
- Pechony, O., y Shindell, D. (2010). Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century Proceedings of the National Academy of Sciences. *National Academy of Sciences* 107, 19167-19170.
- RNDS. (2015). *Cámaras Térmicas*. Retrieved from [www.rnds.com.ar/articulos/062/144\\_W.pdf](http://www.rnds.com.ar/articulos/062/144_W.pdf)
- Roldán, S. (2013). Caracterización molecular, funcional y estudio del comportamiento post cosecha del mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) de la comunidad de Quinticusig del cantón Sigchos de la provincia de Cotopaxi. *Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional*.
- SADMQ. (2013). *Los incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito evaluación 2012*. Quito.

Sánchez, I. (2007). *Cámaras Térmicas, Funcionamiento protocolos de uso.*

<http://prof.usb.ve/ivansan/JAT2007.pdf>

Santamaría, P., Coronel, D., Verdugo, K., Paredes, M. F., Yugsi, E., y Huachi, L. (2012).

*ESTUDIO ETNOBOTÁNICO DEL MORTIÑO(Vaccinium floribundum) COMO ALIMENTO ANCESTRAL Y POTENCIAL ALIMENTO FUNCIONAL.* Quito: ABYA YALA.

Sarochar, H. (2018). *Introducción a la Meteorología General.* La Plata: Universidad Nacional de la Plata.

senseFly Parrot Group. (2017). *eBee senseFly, el dron de cartografía profesional.*

[https://www.sensefly.com/app/uploads/2018/05/eBee\\_ES.pdf](https://www.sensefly.com/app/uploads/2018/05/eBee_ES.pdf)

senseFly Parrot Group. (2018, Mayo). *eBee senseFly El dron de cartografía profesional.*

<https://www.sensefly.com/drone/ebec-mapping-drone/>

Sheperd, T., Saggarr, S., Newman, R., Ross, C., y Dando, J. (2001). Tillage–induced changes to soil structure and organic carbon fraction in New Zealand soils. *Journal Plant and Soil*, 465-489.

SOIL SURVEY STAF. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.* Washington D. C.: Soil Survey Staff.

tecniTop. (2004, Marzo 03). *eMotion – senseFly.* <https://tecnitop.com/es/emotion-sensefly/>

Tecnitop. (2016). *El dron de cartografía con precisión topográfica.* [https://tecnitop.com/wp-content/uploads/2015/09/eBee\\_RTK\\_Tecnitop\\_senseFly.pdf](https://tecnitop.com/wp-content/uploads/2015/09/eBee_RTK_Tecnitop_senseFly.pdf)

- Torres, M., y Galvis, M. (2018). *El efecto del cambio climático en especies de plantas vegetales en el altiplano cundiboyacense*. Boyacá: Documentos De Trabajo ECAPMA.
- USAID. (2001). *Curso para Bombero Forestal. Manual del participante*. San José de Costa Rica.
- Verman , S., y Jayakumar , S. (2012). Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Journal IAEEES, Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 168-176.
- Wieting, C., Ebel, B., y Singha, k. (2017). Quantifying the effects of wildfire on changes in soil properties by surface burning of soils from the Boulder Creek Critical Zone Observatory. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 43-57.
- Yong, R., Benno, W., Yuwaree , P., y Galvez , R. (1990). Buffer capacity and lead retention in some clay materials. *Water, Air & Soil Pollution An International Journal of Environmental Pollution*, 53-57.